

APPARATUS AND METHOD FOR AUTOMATIC MASK INSPECTION BY USING ELECTRON BEAM MICROSCOPY

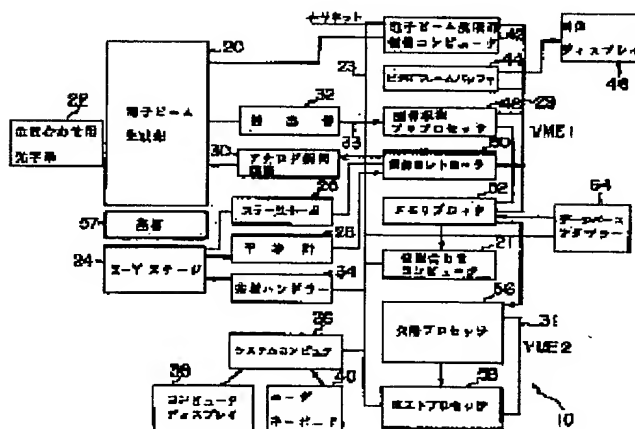
BEST AVAILABLE COPY

Patent number: JP8068772
Publication date: 1996-03-12
Inventor: DAN MAISUBAAGAA; ARAN DEII BUROODEII; TSUON UEI CHIEN; JIYATSUKU WAI JIYOO; BURAIAN JIEI GURENON
Applicant: KLA INSTR CORP
Classification:
- international: G01M11/00; G01N23/203; G01N23/225; G21K5/04; H01J37/28; H01L21/66; G01M11/00; G01N23/20; G01N23/22; G21K5/04; H01J37/28; H01L21/66; (IPC1-7): G01N23/225; G01M11/00; G01N23/203; G21K5/04; H01J37/28; H01L21/66
- european:
Application number: JP19950126723 19950525
Priority number(s): US19940252763 19940602

Report a data error here

Abstract of JP8068772

PURPOSE: To automatically inspect a wafer, a X-ray mask, a substrate, etc., at a manufacturing site by providing an electronic beam generator to generate electronic beam.
CONSTITUTION: An inspecting system 10 has two types of operation modes, a die-to-die comparison mode and a die-to-database comparison mode. In both modes, defectives are detected by comparing the image of electronic beam obtained by scanning a substrate 57 with a reference. The substrate 57 to be inspected is automatically placed on a X-Y stage 24 under an electronic beam generator 20 by a substrate handler 34. The electronic beam generator 20, an alignment optical system, an analog deflection circuit 30, a detector 32 are used to inject electronic beam to the substrate 57 and detect secondary electrons, backward scattering electrons and transmitted electrons. For such detecting operation and data collection, an electronic beam generator control computer 42, a video frame buffer 44, an image collecting preprocessor 48 are used.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学マスクの表面を電導性薄膜にて被覆することに依り電導性マスク層を形成する為の薄膜形成装置と；その電導性薄膜電位を電氣的に接地する為の接地結線手段と；電子ビームを発生させる為の電子ビーム源と；その電子ビームを電導性マスクの表面上に送ってそこでビームを掃引走査する事を可能にする為の荷電粒子線制御筒と；電導性マスクの表面から後方散乱される電子を検出し、且つ電子ビームが電導表面を走査する間、後方散乱電子波形を出力する散乱電子検出器と；電導性マスク表面から2次放出される2次電子を検出し、且つ2次電子が電導表面を走査する間、2次電子波形を出力する2次電子検出器とを；具備する自動光学マスク検査システム。

【請求項2】 請求項1に於て、該光学マスクが位相シフトマスクであるシステム。

【請求項3】 請求項1に於て、該薄膜形成装置が蒸着装置であるシステム。

【請求項4】 請求項1に於て、該薄膜形成装置がスパッタ装置であるシステム。

【請求項5】 請求項1に於て、メモリーを導入して該後方散乱電子検出器と該2次電子検出器にそれぞれ結線し、各々後方散乱波形と2次電子波形をメモリーに記憶させるように配備して成るシステム。

【請求項6】 請求項1に於て、プロセッサを導入して、各々後方散乱波形と2次電子波形を査定せしめ、依って該マスク薄膜の特性を査定させるように配備して成るシステム。

【請求項7】 (a) 光学マスクの表面を電導性薄膜にて被覆し、

(b) その電導性薄膜を電氣的にアースに接地し、

(c) 次に手順(b)で述べた電導性マスク表面で電子ビームが走査するようにこれを掃引し、

(d) 手順(c)で述べた電導性マスクから発生する後方散乱電子波形を得る為に後方散乱電子を検出し、

(e) 手順(c)で述べた電導性マスクから発生する2次電子波形を得る為に2次電子を検出する手順を含む自動マスク検査方法。

【請求項8】 請求項7に於て、該電導性マスクを、位相シフトマスクとした自動マスク検査方法。

【請求項9】 請求項7に於て、手順(a)は、(f) 該被覆薄膜を蒸着法にて製造する手順をふむ自動マスク検査方法。

【請求項10】 請求項7に於て、手順(a)は、(g) 該被覆薄膜をスパッタ法にて製造する手順を含む自動マスク検査方法。

【請求項11】 請求項7に於て、更に(h) それぞれ手順(d)と(e)で得られた後方散乱電子波形と2次放射電子波形をメモリーに保管させるようにした自動マスク検査方法。

【請求項12】 請求項7に於て、(i) それぞれ手順(d)と(e)で得られた該後方散乱電子波形と該2次電子波形をそれぞれ査定し、更に(j) 被覆薄膜特性を査定させる手順を加える自動マスク検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は超微細半導体集積回路の製造に使用される様々な種類のマスク基板、特にその中でも電子ビームを用いる位相シフトマスクの自動検査技術に関する。

【0002】

【従来の技術と発明が解決しようとする課題】 超微細半導体集積回路を適正な歩留りで生産するには、製造プロセスで使用するマスクやウェーハに欠陥が有ってはならない。過去12年にわたって光学マスクやウェーハの自動検査用に多くのシステムが開発され、特許されてきた(例えば、米国特許第4,247,203号、米国特許第4,805,123号、米国特許第4,618,938号、米国特許第4,845,558号参照)。これらのシステムでは、フォトマスク又はレチクル又はウェーハ上の二つの隣接するダイを相互に比較している。同様に、ダイをCAD(コンピュータ援用設計(Computer Aided Design)のデータベースと比較して検査する技術が開発されている(米国特許第4,926,487号参照)。

【0003】 しかしながら、X線マスクの欠陥は可視あるいは紫外スペクトルでは検出できないので、以上に例示した、いずれの光学システムも用途は光学マスクに限定されている。また、光学検査は本来的に生じる光の回折や干渉のために解像度に限界があるので、単純な光学リソグラフィ技術では0.35ミクロン未満の線幅は達成できない。0.35ミクロン未満の線幅はX線リソグラフィ技術により達成できるものと期待されている。

【0004】 集積回路製造に於ける光学リソグラフィの進歩に依り、その微細化は益々進展しつつある。例えば、256メガビットDRAMのウェーハの線幅の半導体デバイスの製造では、ウェーハの線幅は0.25から0.35ミクロンである。この線幅の半導体デバイス製造では、位相シフトマスク技術が使用される。

【0005】 典型的に、これらのマスクは石英基板上にパターンが形成されたクロム層を有し、露光の光線に位相のずれ即ちシフトを与える井戸が基板上に選択されてエッチングされて形成されている。石英基板或いは位相シフトマスクのクロム層の上に形成された光学的に透明な材料パターンによっても又、位相のシフトは発生する。

【0006】 上に参照したマスクのタイプのように、微細パターンが基板表面に形成されたマスクの検査には、必要があろうが無かろうが、石英基板に作られたトレンチあるいは井戸の深度の測定と同様に、クロム層パターンの欠陥も検出探索する事が要求される。その上に、位

相シフト素材の技術に関連して、石英上の欠陥の有無を知ることが必要である。その理由は石英そのものが位相シフト素材の技術に於て重要な役割を担うようになっているからである。

【0007】先の技術で典型的には、位相シフトマスクは光を透過するので、設計上光学技術を用いて検査するものとされてきた。こういった光学検査技術は、今までの光学検査装置に限界があったので、最新の微細パターンが形成されたマスクの検査には、不十分である事がしばしば証明されている。

【0008】上記で明らかにしたように、本発明は、主にX線マスク、位相シフトマスク及びウェーハを検査する装置一式の構造と使用方法に関するものである。過去にこのような装置で電子ビームを走査する場合の唯一の欠陥は、マスクあるいはウェーハの既知の素材上の井戸あるいはトレンチの深度に伴う光学的位相のずれ即ちシフト量を測定出来なかった点である。

【0009】

【課題を解決する為の手段】本発明の好ましい実施例として荷電粒子を走査して基板を自動検査する方法及び装置を以下に述べる。特に位相シフトマスクを検査する目的で電子光学的のビーム生成制御塔、即ちカラムにて発生させた電子ビームに依る手段を用いる。第一の実施例は、基板の自動検査の為の装置及び方法であり、基板表面に荷電粒子ビームを放射して走査する荷電粒子ビーム生成部と、基板の上面或いは底面から生じる2次電子と後方散乱電子を検出しそれ等の電気信号波形を得て、信号波形に種々の解析処理を行ないマスク上のパターン要素が「何デアルカ？」を同定する。そしてダイ・ツー・ダイもしくはダイ・ツー・データベース法に依って欠陥の有無を調べる。

【0010】更に本発明の好ましい実施例として、位相シフトマスクの井戸の深さを測定する方法及び装置を述べる。上述したように、位相シフトマスクでは、露光の光線に位相のずれ即ちシフトを与える井戸が重要な役割を果たす。当然ながら、井戸の深さを測定するに際しても欠陥があれば深度測定に支障を来し、従ってこの課程でも欠陥が探索され得ることは言うまでもない。

【0011】その上、本発明は、位相シフト材料の有無の検知のみならず、その厚さ情報をも知る事を可能にする。

【0012】

【作用及び発明の効果】本発明により、荷電粒子ビームを用いてウェーハやX線マスクや基板などを製造現場で自動的に検査する検査装置を経済的に実現する事ができる。以下では電子ビームを用いて本発明を説明するが、別の種類の荷電粒子ビームを用いる事もできるので、本発明の範囲は電子ビームに限定されるものではない。

【0013】本発明は、ウェーハ、光学マスク、X線マスク、電子ビーム近接マスク、ステンシル・マスクなど

の検査に主に使用されるが、任意の物質の高速電子ビーム撮像に使用することができる他に、マスクやウェーハの製造でフォトリソを露光するための電子ビーム書込みにも使用することができる。

【0014】電子ビームには、基板が絶縁体か導電体かに応じて2つの基本的な動作モードがある。導電性であるか導電体で被覆されているX線マスク、電子ビーム近接マスク、ウェーハ・プリントの検査には主に「高電圧モード」が用いられる。この場合、高電圧走査ビームを使用しても基板は帯電しない。

【0015】一方、非導電性材料層を有する製造中のウェーハや光学マスクの検査には主に「低電圧モード」が用いられる。低電圧走査ビームを使用することにより帯電や損傷を最小にすることができる。以上の相違を除けば、両モードはいずれも欠陥の検出及び分類を高速で達成する。

【0016】現在の走査型電子顕微鏡は走査速度が非常に遅く、その上通常の域を越えた高度の技能を有するオペレータを必要とするので、経済的な観点から判断すると、現在の走査型電子顕微鏡を使用することはできない。

【0017】本発明の新規な特徴は、様々な種類の欠陥を検出できるだけでなく、欠陥の種類を識別できることにある。本発明では「高電圧モード」で後方散乱電子、透過電子、2次電子の検出及び識別を同時に実行できるので、欠陥を即座に分類できる。例えば、X線マスク上の透過検出器のみにより検出される欠陥は、恐らく吸収材料の裂け目であり、2次電子検出器では検出されるが後方散乱電子検出器では検出されない欠陥は有機粒子である可能性が高く、後方散乱電子検出器により検出される欠陥は原子量の大きい汚染物質の可能性が高い。X線マスク上の有機汚染物質のようなある種の欠陥はウェーハ上にプリントされないが、様々な種類の欠陥を識別できる能力は本発明の重要な利点である。

【0018】このように本発明は、欠陥を検出することができるだけでなく、それらの欠陥を識別することができる。本発明ではシステムを半導体の製造に適したものにするために多くの技術を使用している。例えば、真空排気速度と真空から常圧に戻す加圧速度の両者を共に制限して気体の流れを層流の状態に保つことにより、汚染物質の攪乱を防止している。また、これらの動作を他のサンプルの走査と同時に実行することにより、時間を節約している。

【0019】この他に、タレットに6個の電界放出源を設けて無駄な時間を更に少なくしている。最後に、通常オペレータの走査により実行される電子ビームの主な調整はコンピュータにより実行されるので、比較的技能の低い者でも本発明のシステムを使用することができる。

【0020】

【実施例】図1には本発明の検査システム10の全体の

5

ブロック図が示されている。検査システム10はX線マスク、ウェーハ、その他の基板の自動検査装置であり、センサとして走査型電子顕微鏡を使用している。

【0021】この検査システム10は2種類の動作モード、即ち、ダイとダイとの比較モード及びダイとデータベースとの比較モードを有している。いずれのモードでも欠陥の検出は、基板の走査により得られる電子ビーム像を基準と比較することにより行なわれる。即ち、ダイとダイとの(ダイ・ツー・ダイ)比較では、同じ基板の2つのダイからの信号を互いに比較する。ダイとデータベースとの(ダイ・ツー・データベース)比較検査では、電子顕微鏡から得られるひとつのダイからの信号を、そのダイの作成に使用したデータベースからの信号と比較する。

【0022】検査対象である基板57はホルダに保持され、ホルダは電子ビーム生成部20の下方のX-Yステージ24に基板ハンドラー34により自動的に載置される。この動作は次のようにして達成される。システム・コンピュータ36から基板ハンドラー34に命令が送られる。基板ハンドラー34は検査対象である基板57をカセットからとりだし、基板57に形成されている平らな部分又はノッチ59(図2ないし図3aを参照)を自動的に検出して基板57を適切に方向付けてから電子ビーム生成部20の下に装填する。

【0023】次に、オペレータが位置合わせ用光学系22を介して基板57を目視により観察しながら、基板の位置合わせ点を決め(基板の要素パターンを任意に選択して位置合わせ点とする)、ステージのX軸方向への移動が基板のパターンの検査領域のX軸と実質的に平行になるようにする。これで粗い位置合わせ作業が終わる。

【0024】粗い位置合わせ作業に引き続いて、精密な位置合わせ作業を行なう。精密な位置合わせ作業は、オペレータが電子ビームで基板を走査し、画像ディスプレイ46に現われる画像を観察しながら行なう。位置合わせに関連するデータは総てが位置合わせコンピュータ21に保存される。この位置合わせコンピュータ21は、システム・コンピュータ36と協調して作動し、ダイをX,Yの両軸に添って走査するのに必要な実際の複合X,Y動作を計算する。従って、以後同一種類の基板に関してはオペレータが自ら位置合わせ作業をする必要はない。基板の精密な位置合わせ作業が終了すると、検査工程が開始される。

【0025】電子ビーム生成部20、位置合わせ用光学系22、アナログ偏向回路30、検出器32により、以下に詳述するように、電子ビームの基板57への入射、及び2次電子や後方散乱電子や基板57を透過する電子の検出が行なわれる。この検出動作とデータの収集は、電子ビーム生成部制御コンピュータ42、ビデオ・フレーム・バッファ44、画像収集プリ・プロセッサ48、偏向コントローラ50、メモリ・ブロック52により行

6

なわれる。VMEバス、即ち、符号29で示すVEM1はサブ・システム間の通信リンクとして機能する。

【0026】基板57の検査中のX-Yステージ24の位置と移動は、偏向コントローラ50と、メモリ・ブロック52と、位置合わせコンピュータ21との制御の下で、ステージ・サーボ26及び干渉計28によって制御される。

【0027】ダイ・ツー・データベース比較モードの場合には、意図するダイ・フォーマットを表す信号の源として、メモリ・ブロック52と通信しているデータベース・アダプタ54を使用する。

【0028】実際の欠陥検出処理は、ポスト・プロセッサ58及び欠陥プロセッサ56によって、メモリ・ブロック52のデータについてなされる。ポスト・プロセッサ58と欠陥プロセッサ56との間の通信は、符号31で示すバスVME2を介してなされる。

【0029】全体のシステムの走査は、イーサネット・バス(Ethernet bus)に類似しているデータバス23を介して他のブロックと通信を行ないながら、システム・コンピュータ36、ユーザ・キーボード40、コンピュータ・ディスプレイ38によって実行する。イーサネットはゼロックス社の商標である。

【0030】図2にはダイ・ツー・データベース比較モードで検査を行なう場合の本発明の走査の軌跡が示されている。図2には基板57上にダイ64が一個だけ示されている。このダイ64には検査すべき検査領域65が存在する。この検査領域65は基板57上に重要な情報が記録されている領域である。ダイ64の検査に当たって、X軸方向の有効走査移動は移動するX-Yステージ24によりなされ、Y軸方向の有効走査移動は偏向により電子ビームを図中符号60で示した走査領域の幅と同じ振り幅で振ることによりなされる。電子ビームがダイ64の右側に達すると、X-Yステージ24は電子ビームの振り幅未満の距離だけY軸方向に移動する。基板57のX-Y座標系はX-Yステージ24及び電子ビーム生成部20のそれぞれのX-Y座標系と正確に一致しないので、X-Yステージ24の実際の移動と電子ビーム生成部20の実際のビーム偏向は、それぞれがダイ64の走査中にXとYの分力を有している。

【0031】検査領域65内を十分に検査するために、検査は図示したように折れ曲がった軌跡62を描いて実行される。折れ曲がった軌跡62のうちのX軸方向の各軌道は、符号60で示した走査領域と同じ幅を有する走査領域であり、いずれも隣接する走査領域と僅かに重なり合っている。

【0032】ダイ・ツー・データベース比較モードでは、各走査領域に対応する信号が、完璧なダイの対応する走査領域に関するデータベース・アダプタ54からのシミュレーションされた信号と比較される。この処理は、次のダイの検査に移行する前に、現在検査中のダイ

の検査領域65の各走査領域に対して繰り返される。

【0033】図3はダイ・ツー・ダイ比較モードで検査する際の走査の軌跡を示すもので、基板57としては左から右にダイ68、70、66を有しているものを例示している。この検査モードでも、図2の例と同様に、折れ曲がった軌跡63を描いて検査が実行される。しかし、この検査モードはダイ・ツー・ダイ比較モードであるので、X-Y ステージ24は、走査領域毎に3個のダイを横切るまでX 軸方向に移動し続け、3個のダイを横切ってから初めてY 軸方向に移動する。この比較モードでは、ダイ68の第1の走査工程で得られるデータはメモリ・ブロック52に記憶され、この記憶データがダイ70の第1の走査工程中に得られるデータと比較される。ダイ68とダイ70とを比較している時に、ダイ70のデータは、ダイ66の第1の走査工程で得られるデータと比較するためにメモリ・ブロック52に記憶させておく。

【0034】次に、第2の走査工程に移行する。第2の走査工程は、戻り走査工程なので、ダイを通過する順序は逆になり、ダイ66の第2の走査工程により得られるデータはダイ70から得られるデータとの比較のために記憶され、ダイ70から得られるデータはダイ68の第2の走査工程から得られるデータとの比較のために記憶される。この走査と比較の一連の動作を繰り返して基板57の検査領域全体を検査する。

【0035】多重走査統合技術により画像を得ることが必要なこともある。この場合、各ピクセルを長い時間間隔で露光しなければならない。従来の走査顕微鏡ではビームが次のピクセルに移行する前のピクセル滞留時間が長いゆっくりとした走査技術が通常利用されている。ところが、基板の検査システムでは、基板の加熱及び帯電は好ましくないため、ピクセルの記録速度が遅いことは望ましくない。

【0036】多重走査を統合して十分なコントラストを有する画像を得たり、画像の信号対雑音比を改善したりすることが必要な場合もある。信号対雑音比を改善するには、基板の同一位置を何回か走査して得られる信号値を各ピクセル毎に平均化する必要がある。「低電圧モード」（このモードについては後述の「電子光学」の項で詳述する。）での画像のコントラストは、電子ビームが基板の特定のピクセルの位置に戻ってくる戻り期間にも基板を走査することにより改善することができる。非導電性の基板の低電圧検査でのコントラストの改善は、「電子光学」の項で説明するように、ビームが戻ってくる間に、特定のピクセル位置の電子を近くの領域が走査されたときに生じる2次電子に置き換えることによって達成することができる。更に、熱に弱い基板材料の場合には、ピクセル位置をビーム走査する時間に間隔を設けてビームにより蓄積される熱を発散させるようにする。

【0037】図4は本発明が採用している走査方法の例を図式的に表したものである。この図には512列カケル m (m は4の倍数数) 行個のピクセルから成る一連の長方形をビームの偏向により4回走査して信号を平均化させる方法が示されている。一連の長方形の各々の中心がステージの移動方向に沿って $m/2$ ピクセル個だけ移動する。

【0038】図4には本発明が信号の平均化、コントラストの改善、熱の発散のために採用している重複フレーム走査技術の例が示されている。図示の例では、各ピクセルが4回走査される。各走査ラインはY 軸方向にピクセル数で512個の長さを有している。重複フレーム走査のために、 m 個の横に並んだ一連のライン1..... m が基板上で走査される。ライン間のX 軸方向の間隔はピクセルの大きさに等しく設定されていて、各ラインは連続的にX 座標が増大していく。

【0039】図5は図4に示した走査中におけるビームのX 軸方向の公称偏向値を時間の関数として図式的に表したものである。水平方向は時間軸であり、垂直方向はX 軸上の位置である。図5にはビームの偏向に使用しているX 軸方向の偏向システムの階段上の出力が示されている。 m 個のラインの走査後に、図5に示されているように、走査はX 軸方向に後退する。この偏向システムの下で基板を移動させるステージは、ビームがX 軸方向に後退した時に、次の走査ラインの位置が最初の m 個のラインの数($m/4+1$)に一致するように、X 軸方向の速度が調整される。この例では4回繰り返して走査するので、ビームが512カケル m 個のピクセルから成る長方形を4回走査すると、ステージは基板をX 軸方向に m 個のピクセル幅の距離だけ移動させる。

【0040】図6は、図4に示した走査中における基板上のビームのX 座標を時間の関数として図式的に表したものである。水平方向は時間軸であり、垂直方向はビームのX 軸上の位置である。図6には基板上の一連の走査ラインの各々のX 座標が時間の関数として示す。ここには、偏向システムの下で基板を移動させるステージと、走査ラインを偏向領域内のX 軸方向に沿って前後に移動させる偏向システムとの組み合わせにより、ビームが基板上の各ラインの位置を4回走査することが示されている。画像データをメモリ・ブロック52に記録し、適切なメモリ・アドレスからのデータを平均化することにより、平均化されたデータを欠陥プロセッサ56及び位置合わせコンピュータ21に供給することができる。この例では平均化の数として4を用いているが、実際に結合する走査回数とフレーム毎のライン数 m は、雑音の減少、コントラストの強化、検査効率の最良の組み合わせを生成するように選択する。

【0041】ステージの移動方向に垂直なY 軸方向の走査は1回の通過により撮像に用いる走査と同じである。ここでは走査は露出間隔 t 毎にピクセル1個分 D だけ進

む。512個のピクセルは場の走査領域を1回の通過で撮像するには、ステージの速度を(D/512/t)に設定して、1回走査する毎にステージがピクセル1個分だけ進むようにする。通過を数回繰り返して撮像する場合には、基板からみた走査ビームも(D/512/t)ミクロン毎秒の速度で進まなければ平方ピクセルを記録することができない。1回通過する毎にn個のピクセルを露出して画像を記録するには、ステージを(D/512/t)未満の速度でゆっくりと移動させなければならず、しかも走査時間(512* t)の間に(1-1/n)*Dミクロンだけ余計にビームを進めて、ステージの移動方向に階段状に走査するようにしなければならない。

【0042】可変数m段後に、X軸方向の走査が後退する。このようにして、走査軌道は512*(1-1/n)*mの形状フレームになる。基板表面からみると、図4に示す重複フレームのパターンになる。各画像ピクセルの多重露出時間の間隔は(512*m* t)である。mをnより大きく設定しているかぎり、ピクセルの再走査の回数及び繰り返し速度の両者を自由に変更することができる。画像データをメモリ・ブロック52に記録し、適切なアドレスからのデータを平均化することにより、平均化されたデータをあたかも一回のゆっくりとした通過で記録しているかのように、欠陥プロセッサ56に供給することができる。この技術の長所は、パラメータを調整してピクセル相互の露出時間を最適にすることができることである。

【0043】図3に戻ってダイ・ツー・ダイ比較モードをより詳細に説明する。電子ビームがダイ68とダイ70の走査領域を走査すると、図1に示す3種類の検出器32からの信号33が画像収集プリ・プロセッサ48に送られ、ここでデジタル信号に変換されてからメモリ・ブロック52に記憶される。ダイ68、ダイ70からの両データが同時に欠陥プロセッサ56に送られ、ここで両データ間の重要な不一致が欠陥として指定される。次に、欠陥プロセッサ56からの欠陥データを蓄積して、これがポスト・プロセッサ58に送られ統合される。ポスト・プロセッサ58は、欠陥のサイズや種々の特性を決定し、その情報をシステム・コンピュータ36がバス23を介して利用可能な状態にする。

【0044】ダイ・ツー・データベース比較検査モードでは、システム10は上記と同様に動作するが、メモリ・ブロック52が一つのダイからのデータを受信する点、欠陥プロセッサ56での比較のための参照データがデータベース・アダプタ54によって提供される点が異なっている。

【0045】基板全体が検査されると、欠陥のリストが欠陥の位置情報と共にコンピュータ・ディスプレイ38に表示される。オペレータはユーザ・キーボード40によって欠陥の調査を開始できる。この命令に応答して、システム10は各欠陥の周囲を走査し、その像をディス

プレイ46上に表示する。

【0046】走査光学

主要な幾つかの素子と電子ビーム生成部20の特別な設計との組み合わせで、画像形成速度を約100倍以上に早めることができる。信号対雑音比の関係で走査速度には基本的制約があるので、画像形成速度を早めるにはビームの電流値 (beam current) を高めることが必須不可欠である。本発明では高輝度高温放射源を用いて、広角にわたるビームの強度を高めてビーム電流値を大きくしている。しかし、電子の密度が高くなるとクーロン相互に斥力が生じてしまうので、カソードの近傍に高電界を掛けて、ビームの径を急激に拡大させている。電子ビーム生成部では電荷密度を上昇させる電子の交差が生じないようにし、開口数を大きくしてクーロンの斥力の問題を少なくしている。

【0047】基板を例えば、毎秒100メガピクセルの高速度で走査しなければ、検出器は連続して走査した2個のピクセルから生じる2次(リターン)電子の一時的な識別をすることができない。これは、各ピクセルの滞留時間に比べて到着時間にばらつきのないことが必要であることを意味している。

【0048】電子がターゲットを離れたら、直ちに電子を加速することにより、各ピクセルの到着時間のばらつきを少なくすることができる。このような対策により検出器での到着時間のばらつきを約1ナノ秒以内に維持することができる。逆バイアスされた高周波ショットキー・バリア検出器を検出対象である電子の種類毎に用いれば、到着時間のばらつきを更に少なくすることができる。ショットキー検出器は単に例として示したのであって、他の種類の半導体検出器を使用してもよい。

【0049】電子光学

電子光学サブ・システムは、機能的には走査型電子顕微鏡に似ており、走査電子ビーム・プローブと、2次電子、透過電子、後方散乱電子の検出素子とを基板表面の撮像用に有している。検査中は、電子ビームが一方向に走査され、ステージが電子ビームの走査方向に垂直な方向に移動される。低電圧の2次電子か、高エネルギーの透過電子あるいは後方散乱電子のいずれかがビデオ信号の生成に使用される。生成されたビデオ信号はデジタル化されて細長い走査領域像の形で記憶される。この電子光学サブ・システムは、高解像度で自動的に欠陥を検出することができるだけでなく、新旧両技術を組み合わせで検査に必要な解像度で雑音の少ない画像を高速に得ることができる。

【0050】ビームは、典型的には、非常に高速な5マイクロ秒周期の鋸波掃引を使用して、512個のピクセルからなるフィールド(18-100 μ m幅)を走査する。偏向は歪みを発生することがなく、表面にほぼ垂直なので、撮像特性は走査フィールドで一様である。

【0051】検出効率が高いので、プローブからの電子

により生じる2次電子のほぼ総てを画像形成に使用することができる。検出システムの帯域幅は、走行時間が短いのでピクセル速度に匹敵している。2次電子は共軸で抽出されるので、観察物体のエッジが基板上でどのような方向を向いていようとも、エッジ形状の正確な画像が得られる。

【0052】図7は、光学システムの要素と、その機能を理解するために必要な関連する電源を示している。電子銃は、熱的電界放出カソード81と、放出制御電極83と、アノード・アパーチャ87を有するアノード85とから成る。カソード81は、電源89によって20KeVのビーム電圧に保持されている。カソード81の表面の電界強度に依存する放出量は、バイアス供給源91に接続されている電極83の電圧によって制御されている。電極83の電圧はカソード81の電圧に対して負である。カソード81は電流源93によって加熱される。カソード81の近くの磁気コンデンサ・レンズ95は電子ビームを平行にするために使用する。上部偏向器97は、位置合わせ（位置整合）、スチグメーション（無非点収差）、帰線消去のために使用する。この光学系には数個のホールからなるビーム制限アパーチャ99が更に設けられている。ビーム100は対物レンズ104の前に配置されている一対の静電気偏向器101、103により偏向されて、対物レンズ104の上方の一点の辺りで揺動する。対物レンズ104は下部レンズ極片106、中間電極107、上部レンズ極片105で構成されている。高電圧動作モードでは、対物レンズ104の上部レンズ極片105及び下部レンズ極片106だけを用いてプローブの焦点合わせが行なわれる。結局ビーム100は、はるか遠方で集束する状態で基板57上を走査される。従って、殆ど平行な対物レンズ104により再度収束されて、1X倍、即ち等倍に拡大されたビーム発生源の像が形成され、これが基板57を照射する。

【0053】高電圧2次電子撮像モードでは、対物レンズ104により2次電子が抽出される。X-Yステージ24、基板57、下部レンズ極片106は電源111によって数百ボルトの負の電位にフローティングされている。その結果、2次電子はこのエネルギー状態に加速されて偏向器112、113を通過する。中間電極107は、電源115によってX-Yステージ24に対して正にバイアスされている。この中間電極107は、基板57を離れた電子を直ちに加速すること、及び基板の欠陥領域から発生される2次電子を効率良く収集することに使用される。X-Yステージ24と中間電極107との組み合わせにより、2次電子が2次電子検出器117に到達する時間のムラを実質的に除去する。2次電子はレンズ104を通して再び後方に戻るので、帰還2次電子はウィーン・フィルタとして機能する偏向器113、112によって2次電子検出器117の方に偏向される。ここで、帰還ビームは2次電子検出器117のアノード11

8に接続された電源119により高エネルギー状態に再加速され、2次電子を増幅に十分なエネルギー・レベルでショットキー・バリア固体検出器である2次電子検出器117に衝突させる。検出器ダイオード（2次電子検出器）117のアノード118は、電源121により逆バイアスを加える。検出器ダイオード117からの増幅信号は前置増幅器122に送られ、そこから図1の信号33の2次電子コンポーネントである高電圧絶縁ファイバ光学リンク126を介して画像収集プリ・プロセッサ48及び関連電子回路に送られる。この信号は図1で信号33の内2次電子に依る部分となっている。

【0054】部分的に透明な基板を検査できるように、透過電子検出器129をX-Yステージ24の下に設ける。透過電子は基板57を高エネルギーで透過するので、透過電子の再加速は不要である。上部電極素子123、中央部電極素子124、下部電極素子127からなる透過性電極により透過電子ビームはショットキー・バリア固体検出器である透過電子検出器129による検出に適した径に広がる。上部電極素子123は、X-Yステージ24と同じ電位に保持され、中央部電極素子124は電源114により0ないし-3KVに保持する。透過電子検出器129からの信号は増幅器133により増幅され、図1の信号33の透過電子コンポーネントであるファイバ光学リンク135により伝送される。

【0055】この光学システムは、1次電子とほぼ同じエネルギー・レベルで基板表面を離れる後方散乱電子の収集もできるように設計されている。後方散乱電子検出器160は、ビーム軸の脇に位置している検出器117に類似したショットキー・バリア・ダイオード検出器である。ウィーン・フィルタ偏向器として機能する両偏向器112、113の静電気及び磁気の設定を少し偏向することにより、ビームは図の左に偏向して固体検出器である後方散乱電子検出器160に入射する。後方散乱信号は前置増幅器162により増幅され、画像収集プリ・プロセッサ48に送られる（図1参照）。

【0056】500-1, 500eVの範囲の低い電圧ビームで撮像するには、対物レンズ系の素子にかなり異なったバイアスをかけ、別の新しい素子を2個使用しなければならない。1次ビーム電子は電源111で基板57、下部レンズ極片106、中間電極107を約-19KVにフローティングすることにより対物レンズ内で減速される。この技術により、電子ビームは経路端の近傍でのみ減速されるので、ビームの経路全体を低ビーム・エネルギーで作動させた場合に画像を劣化させる収差や電子ビーム生成部での相互作用効果を防止することができる。このような構成により、上部レンズ極片105及び下部レンズ極片106との間の減速領域で優れた集束効果が得られる。基板の下には作動極片を一つだけ有しているシュノーケル・レンズ125を更に設けて、基板付近に磁気集束領域を形成する。このレンズの帰還束は下

13

部レンズ極片106を通過してシュノーケル・レンズの外殻に至る。基板の近傍では磁界が強いので、集束効果のほかに、低エネルギーの2次電子を深部の要素パターンから抽出する際の助けになり、2次電子が再加速されて対物レンズ104の口径内を上昇する際に2次電子が互いに平行になる。

【0057】低電圧撮像モードでは、約5eVで基板を離れる2次電子は対物レンズ内で約19KeVに加速される。帯電を最小に止めるには、2次電子が場のない基板付近の短い領域を通過することが望ましい。低電圧モードでは、対物レンズが中間電極107の電圧水準にない、対物レンズから漏れる磁界により基板57の表面付近に加速領域が形成されてしまう。低電圧モードでは、中間電極107は下部レンズ極片106に対して負にバイアスされていて、電源115により最適な低電圧撮像に調整することのできる無磁界領域が形成される。再加速後に、2次電子はウィーン・フィルタ偏向器112及び113を通過し、ここで2次電子は左側に偏向されて高電圧モードで後方散乱撮像に使用した後方散乱電子検出器160に入射する。このようにして検出された信号は前置増幅器162で増幅されてウェーハの低電圧検査用の最も重要な画像信号となる。検出器117及び129は、いずれもこのモードでのウェーハ検査には使用しない。

【0058】図8は、電子ビーム生成部20内部及び基板57直下の種々の電子ビーム経路の概略図である。電子は熱的電界放出カソード81から半径方向に放射され、非常に小さな輝点源から発生したように見える。加速場とコンデンサ・レンズの磁場との結合した作用によりビームはコリメートされて平行ビームになる。使用できない角度で放射された電子は電子銃のアノード・アパーチャ87により遮蔽され、使用できる角度で放射された電子のみがビームとしてビーム制限アパーチャ99に入射する。図7の上部偏向器97でスチグメーション及び位置合わせをすることにより、ビームは断面形状が最終的に丸くなり、図7の素子105、106、107からなる対物レンズの中心を通過する。図7の磁気コンデンサ・レンズ95は中心が熱的電界放出カソード81とビーム制限アパーチャ99により規定される軸に一致するように機械的に位置づけられる。偏向により電子は図示の経路を辿って対物レンズ104から放出され、走査収束されて一点で基板に衝突する。

【0059】走査されるビーム100の径と電流値は、幾つかのファクターにより決まる。ビームの流れは、放射源からの角放射(1.0Ma/ステラジアン)と、ビーム制限アパーチャ99により規定されるアパーチャ角とにより決まる。ビームの径は、球面収差と色収差を最小にするために高励起(視野幅/焦点距離)に設計されている両レンズの収差により決まる。基板57上に投影されるビームのサイズは、ほぼ半分がビームの相互作用効

14

果(ビームを構成している個々の電子間の反発による統計的ぼけ)により決まるので、このような高強度ビーム・システムではビームの相互作用が重要である。ビーム経路を40cmと短くし、電子源及び基板57のそれぞれに比較的大きな半角のレンズを使用して、電子源と基板57との間で電子の交差(crossover)が生じないようにすることにより、ビームの相互作用の影響を最小に抑えることができる。前述の諸影響の均衡を保ちながらビーム流をできるかぎり最大に維持できるアパーチャ径を選択することにより、所定のビーム・スポットが得られる。レンズの強度を変化させてビーム源からのビームを拡大したり縮小したりすることによってもビームのスポット・サイズを変更することができるが、このようなシステムでは、先ずアパーチャを使用して調整する。

【0060】高電圧モードでは、ウィーン・フィルタ偏向器として機能する図7の両偏向器112及び113は、高エネルギーの走査ビーム100に殆ど影響を与えないで、約100eVの2次電子ビーム167を偏向する。ウィーン・フィルタ偏向器は(互いに直角に)電場と磁場が交差するように配置されている静電的8極偏向器112と4極磁気偏向器113とで構成する。帰還2次電子は両方の場によって側方に偏向される。しかしながら、1次走査電子のビーム100は反対方向に移動している、両方の場の強度を適切に選択して、ウィーン・フィルタ偏向器が2次電子ビーム167を広角に偏向しても、1次走査ビーム100には何等の影響も及ぼさないようにしなければならない。いわゆる「ウィーン・フィルタ」は共軸抽出に効果的に使用される。2次電子検出器117のアノード118は、再加速の間に2次電子ビーム167が固体検出器である2次電子検出器117のコレクタに集められ収束されるような形状をしている。

【0061】図8には、透過電子と後方散乱電子の検出経路も示されている。後方散乱電子を高電圧動作で検出し、2次電子を低電圧動作で検出するために、両ウィーン・フィルタ偏向器112、113に別の動作をさせ、これにより後方散乱電子や2次電子がシステムを上昇するように示されている経路を通過して後方散乱検出器160へ至るようにする。一部透明な基板を撮像した場合には、電子の中にはエネルギーを一切失わずに基板57を透過するものがある。このような透過電子は図7の上部電極素子123及び中央部電極素子124を通過して、透過電子検出器129に入射するが、両電極素子はレンズとして機能して透過電子108を広げるので、透過電子は広がってから透過電子検出器129に入射する。高電圧モードで透過信号を得る場合には、シュノーケル・レンズ125は低電圧2次撮像に必要なレンズの場を実質的な影響を与えずに透過電子がシュノーケル・レンズ125の孔を通過できるようにする。

【0062】基板57、下部レンズ極片106、中間電

15

極107を高電圧にフロートさせる低電圧モード動作では、ビームの経路は類似しているが対物レンズの動作がかなり相違している。シュノーケル・レンズ125が基板57を貫通して下部レンズ極片106の内部に迄達する磁界を発生する。電子が上部レンズ極片105、中間電極107、下部レンズ極片106の辺りの磁界により減速すると、屈折率が大きくなるので有効焦点距離が比較的短くなる。この種の減速液浸レンズは、収差の削減に顕著な効果を有している。液浸レンズは、今迄の放射顕微鏡技術で使われているカソードレンズと異なりその電極107を負にバイアスして基板57の近傍に短い「無電界領域」を形成する。基板にバイアスをかけても低エネルギーの2次電子が中間電極107の作用により基板に戻るので、好ましくない帯電効果は中和される。

【0063】「無電界領域」から離れた2次電子は、中間電極107と上部レンズ極片105との間の領域で再加速される。2次電子は電子銃から放出される20KeVの1次ビーム・エネルギーから基板に衝突したエネルギーを引いた量にほぼ等しいエネルギーで上部レンズ極片105から出てくる。対物レンズ領域では以後の経路は1次ビームに類似しているが、2次電子は広く分散して放出されてその角度は非常に広がっている。この2次電子ビームは低電圧2次電子検出器160に向かう。この2次電子は低電圧2次電子検出器160に向かう。この検出器は、後方散乱電子検出器160と同じものを共有する事が出来る。帰還2次電子ビーム104のエネルギーは1次ビーム・エネルギーに匹敵するので、非常に強力なウィーン・フィルタ偏向器112及び113により偏向する必要があるが、この時1次ビーム100の経路に殆ど影響しないようにする事ができる。

【0064】低電圧モードは部分的に絶縁されている基板の検査にしばしば用いられるので、帯電を最小限に抑える技術が重要である。2次電子（低エネルギーの2次電子や後方散乱電子）の数と基板に入射する1次ビーム電子の数とが等しくない場合に、絶縁領域が帯電する。撮像対象である表面はどのような物でも微細構成及び材料により電荷の均衡が変化する。2次電子の散乱によるエネルギー放射量は入射ビームのエネルギーに応じて変化するが、多くの材料では200ないし1,500eVの範囲より大きく、その他の材料ではこの範囲より小さい。2次電子の散乱によるエネルギー放射量が200ないし1,500eVの範囲より大きい場合には、表面は正に帯電している。

【0065】2次電子は0から凡そ20eVのエネルギー範囲で基板57の表面を離れるが、最も可能性の高いエネルギー値は2.5eVである。基板57の表面付近の電界を例えば中間電極107の電位により制御できるのであれば、適用する電界や2次電子が基板を離れるエネルギーに応じて2次電子を基板から放出させたり、基板に戻したりすることができる。例えば、約10eVの抑制電

16

位壁が形成されている場合、基板57の一点から放出される2次電子はほんの僅かだけが電位壁を越えて検出器に入射する。

【0066】磁界から離れる2次電子や後方散乱電子の放出量が1次ビームの電子の量よりも多い場合には、基板57は正に帯電し、中間電極107により形成される抑制電位壁のサイズが増大する。従って、エネルギーの低い2次電子はほとんどが留ってしまう。表面電位は均衡するまで正の値になっている。2次電子や後方散乱電子の放出量が1次電子の量よりも少ない場合には、表面は負に帯電し、中間電極107により形成される抑制電位壁が低くなる。従って、低エネルギーの2次電子が大量に放出される。表面電位は均衡するまで正の値になっている。このような状況の下である期間が過ぎると表面電位が安定する。基板の領域内に大きな電位差が生じることを防止するためには、中間電極107を適切に調節して平衡状態（1次電子ビームの強さが2次電子の強さと等しい状態）が平均して得られるようにすることが重要である。

【0067】微細構成及び材料の相違が2次電子のエネルギー放射量に影響するので、基板の別の領域では平衡電圧は変化する。しかしながら、平衡であれば、2次電子の発生量は全領域で同一になる。即ち、平衡状態で撮像した基板像にはコントラストは生じない。この問題を回避するために、ピクセル毎の照射量を低く抑え、必要があれば、先に述べた「多重フレーム走査」技術を用いて再走査して、好ましい画像統計を得るようにする。

【0068】走査の軌道間の時間を制御することにより、走査と走査との間に隣接領域で発生する電子により基板を中和することができる。この技法の重要な要素は、電界を制御する中間電極107と重複フレーム走査軌道である。カソードの寿命が短くても電子銃の信頼性を高めることができるように、電子銃は、図9に示すように、高電圧にフロートされた六角形の回転タレット137上に設けられた6個のカソード制御電極アセンブリを有した構成にしてある。各アセンブリは回転してアノード・アパーチャ87の真上に移動して固定し、図7の適当な電源91と93と電気的に接続する。

【0069】図7でレンズの前に配置されている静電気偏向器101、103から成る静電気偏向システムに於て、高速度の鋸歯状波偏向電圧が発生する電界は、その均一性を高く保つ必要がある。その構造は、モノリシックなセラミックと金属の一体型の構成であり、エッチングに依る20個の偏向プレートを形成している。X-Yステージ24の座標系と基板57の座標系とを一致させて走査をするには、両ステージの各々に4個の駆動装置が必要である。

【0070】操作容易性の観点からシステムは、自動調整機構とスタート時の自動調整手順を導入した。レンズと偏向/スチグメーション（非点収差補正）素子と全高

電圧供給源とは、いずれも図 1 に示した電子ビーム生成部制御コンピュータ 42 にインターフェースされているデータ収集制御システムの制御下に置く。個別動作に必要なそれぞれ特別な値の偏向比及び静電板電圧を調整するプログラムは電子ビーム生成部制御コンピュータ 42 に内蔵させた。電子銃の制御及び調整はアナログ・デジタル・フィードバックを使用して放射量、アパーチャ通過量、電源供給量を設定する調整ルーチンにより修正された定格値に基づいている。

【0071】ビームの位置合わせは、レンズの透過電流が変化したときに偏向を除去する公知の手法を使っている。この走査には 2 軸フレーム走査機能によって撮像される特定のテスト・サンプルを用い、位置合わせ及び検査に必要な画像分析能力も加えた。基板の高さの変化を補償するために自動焦点機構があり、スチグメーションと称する収差補正を検査の前に実施するようにした。これらの調整手順は、画像収集プリ・プロセッサ 48 及び関連電子回路による画像のコントラストと調和内容の解析を行なう事に基づく。

【0072】高電圧モードで光学系が定格状態で作動している場合、本発明では 20 KeV のビーム・エネルギーでビームのスポット・サイズは 300 nA で 0.05 μm から 1.000 nA で 0.2 μm まで変化する。走査速度は、100 メガ・ピクセル/秒で撮像される 512 個のピクセル走査フィールドを使用して 5 マイクロ秒である。2 次電子検出器 117 のダイオード電流増幅率は、5 KeV で約 1000 倍から 20 KeV で 5000 倍である。0.05 ミクロンのスポットを使用して 100 メガピクセル/秒で約 14% を越えるエッジ・コントラストのサンプルの場合には、この範囲の作動状態を越えてシステム全体を作動させることができる。収集電子回路により複数本の走査ラインの集積化が可能なので、低コントラスト又は高解像度の画像を低帯域幅で記録することができる。

【0073】低電圧モードでは、上部レンズ極片 105 までのビーム・エネルギーは 20 KeV で、基板でのビーム・エネルギーは 800 eV である。ビームの強さとスポット・サイズとの関係は 25 nA で 0.05 μm 及び 150 nA で 0.1 μm である。走査期間と場のサイズは高電圧モードの時と同じである。後方散乱電子検出器 160 の増幅率は 5000 倍である。0.05 ミクロンのスポットを使用して 100 メガピクセル/秒で約 20% を越えるエッジ・コントラストのサンプルの場合には、この範囲の作動範囲を越えてこのシステムを作動させることができる。

【0074】欠陥プロセッサ

欠陥プロセッサ 56 は、ダイ・ツー・ダイ比較検査の場

合には、ダイ 68 から得られる画像データをダイ 70 から得られる画像データと比較し、ダイ・ツー・データベース比較検査の場合には、ダイ 64 から得られる画像データをデータベース・アダプタ 54 から得られるデータと比較する。欠陥プロセッサ 56 のルーチン及び基本的構成は、米国特許第 4,644,172 号に開示されている欠陥プロセッサのルーチン及び基本的構成とほぼ同じである。米国特許第 4,644,172 号は 1987 年 2 月 17 日に発行されて、本出願の出願人に譲渡されたもので、発明者はサンドランド (Sandland) その他であり、発明の名称は「自動ウェーハ検査システムの電子制御」である。この米国特許では欠陥を決定するのに 3 つのパラメータを使用しているが、本発明では 4 つのパラメータを使用している。

【0075】ダイ・ツー・ダイ検査、或いはダイ・ツー・データベース検査のどちらも、データはメモリ・ブロック 52 から得ているか、(位置合わせの補正をどのようにして実行するかに応じて) 或いは位置合わせ後に位置合わせコンピュータ 21 から得ている。データの形式は検出器の種類毎にピクセル当たり 6 ビットである。欠陥プロセッサ 56 では、両データが入力される各検出器のピクセル毎に下記の 4 つのパラメータが決定される。

【0076】

- I は、ピクセルのグレースケール値
 - G は、グレースケール・ピクセルの傾きの大きさ
 - P は、グレースケール値の傾きの位相、又は向きの角度
 - C は、局所的な傾きの輪郭の曲率
- グレースケール値は特定のピクセルに対するメモリ・ブロック 52 の単なる値である。傾きの大きさと傾きの方向は次のようにして得られる。まず、ソーベル演算子の X と Y の成分を計算する。

【0077】

【数 1】

$$S_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad S_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

従って、傾きの大きさは

【数 2】

$$P = \left((S_x)^2 + (S_y)^2 \right)^{1/2}$$

でありその方向角度 P は、 $P = \arctan(S_y/S_x)$ である。

【0078】曲率は以下のように定義される。

【0079】

【数 3】

$$C = \begin{pmatrix} a_{11}R_{-2,-2} & a_{12}R_{-2,-1} & a_{13}R_{-2,0} & a_{14}R_{-2,1} & a_{15}R_{-2,2} \\ a_{21}R_{-1,-2} & a_{22}R_{-1,-1} & a_{23}R_{-1,0} & a_{24}R_{-1,1} & a_{25}R_{-1,2} \\ a_{31}R_{0,-2} & a_{32}R_{0,-1} & a_{33}R_{0,0} & a_{34}R_{0,1} & a_{35}R_{0,2} \\ a_{41}R_{1,-2} & a_{42}R_{1,-1} & a_{43}R_{1,0} & a_{44}R_{1,1} & a_{45}R_{1,2} \\ a_{51}R_{2,-2} & a_{52}R_{2,-1} & a_{53}R_{2,0} & a_{54}R_{2,1} & a_{55}R_{2,2} \end{pmatrix}$$

ここで、係数 a_{ij} 波状況に依存して選択されるパラメータの組であり、 R_{ij} は以下のように定義される。

【0080】

【数4】

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} b_{11}I_{-1,1} & b_{12}I_{-1,0} & b_{13}I_{-1,-1} \\ b_{21}I_{0,1} & b_{22}I_{0,0} & b_{23}I_{0,-1} \\ b_{31}I_{1,1} & b_{32}I_{1,0} & b_{33}I_{1,-1} \end{pmatrix}$$

ここで、 I_{ij} は、画像の i 番目の列と j 番目の列の行におけるピクセルのグレイスケール値であり、 a_{ij} と b_{kl} は経験的に得られるパラメータである。

【0081】 好ましい実施例における代表値は以下の通りである。

【0082】

【数5】

$$b_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad a_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -2 & 2 & -1 \\ -2 & -2 & 0 & -2 & -2 \\ -1 & 2 & -2 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

上述した方法で、両画像についてピクセル毎に I 、 G 、 P 、 C の値を求める。ダイ68のピクセルA に関するこれらのパラメータがダイ70の対応するピクセルB のパラメータと比較し、更にピクセルB に隣接する8個のピクセルのパラメータと比較する。ピクセルA の対応するパラメータと所定の許容誤差を越える値だけ相違している場合には、両ダイの欠陥を示すフラッグがピクセルB に付けられる。

【0083】 同様にして、ダイ70の各ピクセルのパラメータがダイ68の対応する隣接ピクセルのパラメータと比較され、所定の許容誤差を越えて相違しているピクセルに欠陥を示すフラッグが付けられる。

【0084】 このアルゴリズムは、上述の米国特許第4, 644, 172 号に開示されているパイプライン・ロジックで実行することができる。行列演算は、100メガピクセル/秒の速度で欠陥データを計算できるパイプライン計算システムに接続された応用指向の集積回路ASIC (Application Specific Integrated Circuit (ASIC)) で実行する。

【0085】 偏向コントローラ

偏向コントローラ50は、ダイ・ツー・ダイ比較モードでは、ダイ68の各走査領域60内の等距離グリッド点に電子ビーム100を位置付ける。このようにして得ら

れる検出器129、160、117の出力がダイ70の対応する位置における同じ検出器129、160、117の出力と比較される。同様に、ダイ・ツー・データベース比較モードでは、データベース・アダプタ54から得られるシミュレートされた画像と、ダイから得られる2次電子検出器117の出力とが比較される。偏向コントローラ50は、図10を参照して以下に説明するように、X-Y ステージ24及び電子ビーム100の位置を制御して電子ビームの位置付けをする。

【0086】 走査領域内の第1のダイを走査する場合には、位置合わせコンピュータ21の出力はゼロに設定される。第1のダイの第1の走査領域の走査中には、不整合は生じないからである。従って、第1のダイの第1の走査領域の走査中には、偏向コントローラ50は電子ビーム生成部制御コンピュータ42のみから命令を受ける。偏向コントローラ50は、電子ビーム生成部制御コンピュータ42の命令と、X 軸及びY 軸の両干渉計28から得られる位置データとに基づいて、X-Y ステージ24の望ましい移動量を計算し、この移動量に対応する信号をステージ・サーボ26に送ってX-Y ステージ24を移動させる。

【0087】 偏向コントローラ50は、同様にしてビーム100の所望の偏向量を計算し、偏向量のデータをアナログ偏向回路30に送る。X-Y ステージ24が移動すると、その位置はX 軸及びY 軸の両干渉計により定常的に監視される。所望のX-Y ステージ位置との不一致が見つかり、この不一致に基づいて誤差信号が生成される。この誤差信号は偏向コントローラ50によりステージ・サーボ26に帰還される。X-Y ステージ24には慣性力が作用するので、誤差が頻繁に生じると誤差信号ではX-Y ステージの位置を修正することができない。X 軸及びY 軸の両方向に頻繁に生じる誤差は電子ビーム100の偏向により修正される。この場合、偏向コントローラ50は電子ビーム100の偏向量を計算し、偏向量に対応する信号をデジタル形式でアナログ偏向回路30に送る。

【0088】 ビーム100がダイ68を走査すると、グレイスケール値がメモリ・ブロック52に記憶される。電子ビーム100がダイ70を走査し始めると、ダイ70のグレイスケール値がすぐにメモリ・ブロック52に記憶され、欠陥プロセッサ56及び位置合わせコンピュータ21に送られる。位置合わせコンピュータ21では、ダイ68及びダイ70のそれぞれからのデータを位置合わせ(位置整合)のために比較する。位置が整合し

ていない場合には、位置整合修正信号を発生して偏向コントローラ50に送る。この位置整合信号はビーム100を基板57の正確な位置に位置付ける微調整に使用する。

【0089】ダイ・ツー・データベース比較モードでは、偏向コントローラ50は、ダイ・ツー・ダイ比較モードの場合とほぼ同様に働くが、走査領域の第1のダイから得られる入力画像の代わりにデータベース・アダプタ54の出力が用いられる点が相違している。

【0090】偏向コントローラ50は、このモードでも10 X-Y ステージ24の移動量、速度、方向、電子ビームの偏向に関するパラメータを計算し規定する。

【0091】位置合わせコンピュータ

位置合わせコンピュータは、グレイスケール値の形式で両デジタル画像を受信して、画像間の位置整合のずれをピクセルの僅かなずれとして判定する。位置合わせのための計算の好ましい実施例は、米国特許第4,805,123号に開示されている。この特許は1989年2月に発行され、名称は「改良された欠陥検出機構及び位置合わせサブ・システムを有するフォトマスク及びレチクルの自動検査装置及び方法」(Automatic Photomask and Reticle Inspection Method and Apparatus Including Improved Defect Detector and Sub-System)である。

【0092】この好ましい実施例では、位置整合修正信号51は検査領域全体に亘って連続的に計算される。このようにして算出された位置整合修正信号は位置合わせコンピュータによりメモリ・ブロック52からの画像の移動又は移動及び補間(サブ・ピクセルの移動)に用いる。あるいは、位置整合のずれが走査中に急激に生じることはないものと仮定して、基板57上の少数の特定特徴点を選択し、選択した特徴点のみについて位置整合のずれを計算しても良い。この場合には、位置整合の計算にフォース・コンピュータ社(Force Computer, Inc.)のモデルCPU30ZBEのような単一ボード・コンピュータを使用することができる。位置整合修正信号は位置の不整合を減少させるために以後のデータ収集位置を逆にずらすことにも使用できれば、メモリ・ブロック52から欠陥プロセッサ56に送られる画像間のずれの判定にも使用できる。

【0093】アナログ偏向

アナログ偏向回路30は、20極プレートで構成されている図7の静電偏向器101及び103用のアナログ勾配関数を発生する。アナログ偏向回路30の動作は図12に示されている。偏向コントローラ50からのデジタル信号は、勾配DAC230によりアナログ電圧に変換されてから勾配発生器232に導かれる。勾配の大きさはDAC236により制御される。サンプル及びホールド回路238は勾配の開始の規定に使用され、サンプル及びホールド回路240は勾配の終了の規定に使用される。高電圧で低ノイズのドライバが波形を増幅してダイナミ

ック・レンジが±180Vの勾配を発生し、この勾配が静電偏向器101、103に印加される。

【0094】メモリ・ブロック

メモリ・ブロック52は3個の同一なモジュールから成り、各モジュールは2次電子検出器117、透過電子検出器129、後方散乱電子検出器160のいずれか一つに対応している。

【0095】図13に概念的に示すように、メモリ・ブロック52の各モジュールは2個の先入れ先出し方式(First In-First Out)メモリから成る。第1の先入れ先出し方式メモリは各検出器によりダイ68から得られる全走査領域のグレイスケール値を記憶し、第2の先入れ先出し方式メモリは短くて、ダイ70の数回の走査のみに対応して各検出器により得られるグレイスケール値を記憶する。両先入れ先出し方式メモリからの出力は、欠陥プロセッサ56と位置合わせコンピュータ21に送られる。各先入れ先出し方式メモリは100Mhzの速度で動作し、検出器当たり8ビットの精度で各ピクセルのグレイスケール値を記憶する。

【0096】メモリは、検出器毎に画像収集プリ・プロセッサ48から並列に送られてくる8バイトを入力レジスタ302で受け取る。入力レジスタ302はシフト・レジスタのように働くもので、8バイトを右に移してから他の8バイトを受け取る動作を入力レジスタ302の8個のセクションが一杯になるまで繰り返す。入力レジスタ302の8個のセクションが一杯になると、64バイトがメモリ303にクロックで送られる。メモリ・ブロックにはDRAM303を使用することができ、通常は128メガバイトで賄う。

【0097】画像捕獲のための前置・プロセッサ

画像捕獲のための前置・プロセッサ48は(プリ・プロセッサ)、各検出器117、160、129からのアナログ信号を100Mhzの速度で8ビット値にデジタル変換し、メモリ・ブロック52に記憶するために出力信号を再フォーマットする。プリ・プロセッサ48は、3個の同一のモジュールから成り、その内の一つを図11に示した。各モジュールは対応する検出器からの出力を受け取り、受け取った出力を8ビットにデジタル化し、(AD変換器9)、多重走査積算器11に送る。多重走査積算器11の目的は、同じピクセルからのグレイスケール値を平均化してノイズを減少させることにある。ある場合には、同一ピクセルを数回にわたって走査して得られた結果、即ち、サンプル化して得られた結果が、そのピクセルの平均値になる。この値をシフト・レジスタ13に送る。シフト・レジスタ13は8バイトをシリアルに受け取り、受け取った8バイトをメモリ・ブロック52にパラレルに送る。

【0098】干渉計

X-Y ステージ24はX軸及びY軸の位置がテレトラックTIPS V (Teletrac TIPS V)のようなX-Y 干渉計28

により監視する。X-Y ステージ24の位置は、最下位ビットが約2.5ナノメートルに対応している28ビットの精度で規定する。

【0099】システム・コンピュータ

検査システム10の全体の制御はシステム・コンピュータ36によって実施する。システム・コンピュータ36は他の段取りタスクを含めて種々様々な一連の工程を順序だてて実行する。ひとつながりになっている各工程はいずれもプログラムに従って所定の時間に達成される。数種類の一連の工程が相互に矛盾しない場合には、システム・コンピュータ36の処理能力が最大になって相互に矛盾しない数種類の一連の工程を同時に実行する事ができる。

【0100】システム・コンピュータ36が実行する作業は、マウスやトラックボール・ポインターを備えたユーザ・キーボード40を介してか、さもなければ、遠方のコンピュータとのデータ通信に依って実施する。局所的な対話の場合には、コンピュータ・ディスプレイ38にシステム・コンピュータ36からのグラフィックやテキストを表示する。

【0101】システム・コンピュータ36のルーチンは、以下の4つの通信タスクに組織化されている。

【0102】1) 電子ビーム生成部制御コンピュータ42、ポスト・プロセッサ58、基板ハンドラー34との通信をするマスター・タスク。

【0103】このタスクは、レンズの設定や、真空圧や、ビーム流等の装置動作パラメータを記録しているファイルをシステム・コンピュータに保管する。

【0104】2) コンピュータ・ディスプレイ38上の表示を管理し、ユーザ・キーボード40及びマウスからの入力を扱うユーザ・インターフェース・タスク。

【0105】このタスクは、ユーザ・キーボード40やマウスからの入力に応答してデータ・ファイルを変更したりメッセージをシステムの他の部分に伝送して処理を開始させたりする。

【0106】3) 画像収集用検査領域の特徴をマスター・タスクを介して電子ビーム生成部制御コンピュータ42に伝送する検査タスク。

【0107】4) ユーザ・キーボード40からのコマンド入力を可能にするコマンド言語解釈タスク。

【0108】このタスクは繰り返し動作の自動スケジュールを可能とするタイマーの管理もする。更に、このタスクは、装置の動作や動作の生じる時間が総て記載されているテキスト・ログファイルの生成及び更新の処理をする。このタスクは通常サービス・エンジニアが装置を制御する際のみ使用する。

【0109】システム・コンピュータの例として、ユニックス・オペレーティング・システム (UNIX operating system) の下で作動するサン・マイクロシステムズ社のスパーク・プロセッサ (Sun Microsystems SPARC pro

cessor) がある。ユニックス (UNIX) はAT&T社の登録商標である。

【0110】電子ビーム生成部制御コンピュータ

電子ビーム生成部制御コンピュータ、即ちカラム・コンピュータ42は、自動焦点コンピュータ、真空制御コンピュータ、偏向指令コンピュータから成る。自動焦点コンピュータについては「自動焦点システム」の項で機能と具体例を説明し、真空制御コンピュータについては「真空システム」の項で機能と具体例を説明する。

【0111】カラム・コンピュータ42は、システム・コンピュータ36から指令を受ける。カラム・コンピュータ42には、フォース・コンピュータ社 (Force Computer, Inc.) が製造しているCPU 30ZBE のような68030ベースの単一ボードのコンピュータを使用することができる。

【0112】ポスト・プロセッサ

ポスト・プロセッサ58は、欠陥プロセッサ56から、総ての欠陥ピクセルを示すマップを検出器毎に受信する。ポスト・プロセッサ58はこれらのマップを結び付けて、欠陥毎にサイズと位置を決定し、欠陥の種類に応じて分類する。このようにしてシステム・コンピュータ36にとって利用可能なデータが得られる。ポスト・プロセッサ58には、フォース・コンピュータ社が製造しているCPU30ZBE のような68030ベースの単一ボードのコンピュータを使用することができる。

【0113】ビデオ・フレーム・バッファ

ビデオ・フレーム・バッファ44は、ピクセル1個当たり12ビットで、480x512個のピクセルを記憶できる記憶容量を有している商業的に入手可能なビデオ・フレーム・メモリである。適切なフレーム・バッファとしてはイメージ・テクノロジー社 (Image Technology Inc.) のモデルFG100Vを挙げることができる。ビデオ・フレーム・バッファは画像ディスプレイを1秒間に30回リフレッシュする。

【0114】画像ディスプレイ

画像ディスプレイ46は、ソニー社のモデルPVM 1342Qのような、商業的に入手可能なカラー・モニタである。疑似カラー技術を用いてオペレータが画像を容易に評価できるようにしている。疑似カラー技術は白黒画像の灰色の濃淡値に異なる色を割り当てるものである。

【0115】データベース・アダプタ

データベース・アダプタ54は、ダイに形成するパターンの設計に使用した計算機援用設計データに基づいて各ピクセルに対応するグレースケールを生成する画像シミュレータである。データベース・アダプタの入力装置の典型は、集積回路のパターン形成に使用するフォーマットのデジタル磁気テープである。デジタル・データは、画像収集プリ・プロセッサ48の出力と同じフォーマットで走査領域を表す一連のピクセル・データに変換される。このようなデータベース・アダプタは米国特許第4,

926,489 号に既に開示されている。この特許は、1990年5月発行、その名称は「レチクル検査システム」、(Reticle Inspection System)である。

【0116】基板ハンドラー

基板ハンドラー34は、カセットから基板57を自動的に取り出して、取り出した基板を適切な方向に向けて基板ホルダに載置する機能を有するものであり、半導体産業でウェーハの搬送や取り扱いに通常使用されているウェーハ・ハンドラーに類似したロボット装置である。基板ハンドラー34は、図2及び図3に示されている平らなノッチ59を先ず検知する。基板ハンドラー34は、基板57の回転の中心から半径方向に延びるリニアCDD センサで光学的に、フラット59とその方向を検知する。基板が回転すると、リニアCDD センサの出力がデジタル値に変換されて、フォース・コンピュータ社のCPU 30ZBE のような単一ボード・コンピュータに記憶される。このコンピュータはフラット59とその方向と位置を判定する。基板57は適切な方向を向くまで回転し、その後、基板ホルダに自動的に載置される。基板57を保持した基板ホルダは、図11の負荷エレベータ210に乗る。基板ハンドラーの動作は総てシステム・コンピュータ36が制御する。

【0117】X-Y ステージ

X-Y ステージ24の機能とは、電子ビーム100及び位置合わせ用光学系22の下で基板57を移動させるものである。システムの複雑さを最小にするために、X-Y ステージ24は自由度がX 軸方向及びY 軸方向の2自由度に設定されている。即ち、X-Y ステージ24は回転することもできなければ、基板57のX-Y 面に垂直な方向に移動することもできない。X-Y ステージはX 軸方向、Y 軸方向、斜め方向に移動できるだけである。電子ビーム・ラスタの回転は、走査をビームの2種類の静電偏向成分に分解し、X-Y ステージを機械的サーボによりX 軸方向、Y 軸方向、斜め方向に移動させることにより、電子的に達成される。対物レンズが基板の高さ方向の変化の補償に十分な範囲の可変焦点を有しているため、Z 軸方向の移動は不要である。

【0118】X-Y ステージ24は、直線移動、直角移動、繰り返しを非常に精密に制御できる装置である。交差して配置されたローラ・ベアリングを使用する。勿論X-Y ステージは真空状態でも使用でき、電子ビーム100と干渉しないように非磁性体で構成する。透過電子ビーム108がX-Y ステージ24の下で透過電子検出器129に到達できるように、X-Y ステージはオープン・フレームを有している。オープン・フレームは、載置プロセスにおいて基板57を下からオープン・フレーム上に載置するためにも有効である。

【0119】図示していない三相ブラシレス・リニアモータを軸当たり2個使用してX-Y ステージ24を駆動することにより、最良のシステム機能を達成するようにし

ている。適切なリニアモータとしては、アノラッド社(Anorad Inc.)が製造しているアノライン・モデルL1及びL2 (Anoline model L1 and L2)を挙げることができる。

【0120】真空システム

真空システム全体は電子ビーム生成部制御コンピュータ42の制御下にある。図示していないがシステムの種々の場所には通常の圧力センサが配置されていて、圧力を測定し、測定結果を電子ビーム生成部制御コンピュータ42に通知している。この電子ビーム生成部制御コンピュータ42が、検査開始時あるいは基板の載置又は取り出し中に、必要に応じて種々の弁を順次制御する。弁の順次制御ルーチンは、「載置動作」の項で詳しく説明する。真空状態が不十分で電子ビームの動作に不適切である場合には、高電圧を自動的に遮断して、熱電界放射カソード81が損傷を受けるのを防止している。この動作は、電子ビーム生成部制御コンピュータ42、システム・コンピュータ36、圧力センサの組み合わせにより実行される。同時に空気仕切弁145(図9と図11)が作動して、電子ビーム生成部20の超高真空領域140の汚染を防止する。真空システムの動作を以下に説明する。

【0121】電子銃を包含する真空は、2段式差動ポンプを用いて達成する。充分ベークングを行えば、それ以外は保守無しで永く使用に耐える。約10のマイナス9乗(10⁻⁹)トールの超高真空領域140は、電子銃のアノード・アパーチャ87により仕切り、イオン・ポンプ149により排気されている。中間真空域は、約10のマイナス8乗トールでありイオンポンプ149にて排気し主真空域143とアパーチャ・アッセンブリ99とからは、ニューマティック・バルブ(電子銃と絶縁する為)に依って隔離する。以上の真空関連の諸要素は、電子線の熱電界放射に最適な環境を提供する。

【0122】主真空域143はターボ・ポンプ204により真空状態に維持され、検査チャンバ206はターボ・ポンプ208により真空状態に維持される。検査チャンバ206は、プレートにより主要真空領域143から仕切られている。このプレートには電子ビームが通過する小さな開孔がある。このように検査チャンバ206と主要真空領域143とが仕切られているので、喩え検査対象である基板が相当の蒸気圧を有するフォトレジストで被覆されていても、高真空状態を維持することができる。

【0123】真空システムは2個のエアロック224及び226を有している。一方は基板57を検査チャンバ206に載置するために使用され、他方は検査終了後に基板57を取り出すために使用される。両エアロックはいずれも並列に配置されている弁212及び214を介して真空ポンプ220に連通している。弁212はエアロック224を低速で排気するためのもので、弁214

は大きな開口を有していて大容量を排気することができる。同様の機構がエアロック226にも設けられている。この排気機構は構成が同じなので同一の参照符号で図示してある。同じ構成の排気機構を二重に設けた目的は、荷電粒子が排気処理により攪乱されるのを防止し、しかもチャンバの排気や加圧に必要な時間を短くするためである。

【0124】以下に詳細に説明するように、基板57がエアロック224に載置されると、先ず低速排気の弁212だけが開く。これによりチャンバ内の流速はエアロック224の領域の荷電粒子を攪乱しないように十分に低く維持する。チャンバ内の圧力が低下して空気流が自由分子流領域の水準、即ち、荷電粒子がもはや攪乱されない領域の水準に達すると、大容積排気の弁214を開いて、エアロック内に残っている空気を急速に排気する。同様の2段階動作が加圧処理にも使用されている。但し、加圧処理では両エアロック224、226のそれぞれについて高速及び低速の両通気用に更に別の一組の弁228及び230を設けた。

【0125】載置動作

以前に説明したように、基板57は基板ハンドラー34の基板ホルダに保持されて、載置エレベーター210に搭載される。この時、エアロック224は大気圧状態にある。エアロック224を低速で排気する弁212が開く。エアロック224の圧力が分子流の圧力に達すると、大容積排気の弁214が開き、残りの空気が排気される。ここでゲート弁216が開いて、載置エレベーター210はゲート弁216を通過して基板57及び基板ホルダを検査チャンバ206にまで押し上げて、ステージ24に載置する。基板57の検査が終了すると、逆の順序で基板57は基板収納用カセットに再び収められる。

【0126】或いは、基板のカセットを同様の方法でチャンバに載置することもできる。チャンバに載置したカセットに収納されている基板の総てについて検査が終了すると、カセットをチャンバから取出して、別のカセットと交換する。

【0127】更に、本発明は二重エアロック構成なので、一方のチャンバ内である基板を検査しながら、同時に他方のチャンバを使用して、別の基板の装着及び加圧をしたり、減圧及びカセットを取出したりすることができる。

【0128】自動焦点システム

電子ビーム100は、図7に示したシステムの対物レンズ104の電流を変化させることにより収束される。基板は必ずしも平坦ではなく、X-Y ステージ24の表面は電子ビーム生成部20の軸に完璧に垂直ではないかもしれないので、最適な焦点電流は検査領域全体にわたって変化する。しかしこの変化はX及びYの両軸方向の距離の関数としては遅いので、基板57上の数個の指定点で最適なフォーカス電流を決定することができる。

【0129】検査処理の準備及び開始手続きの一工程として、指定点での最適なフォーカス電流の測定が行なわれる。このフォーカス処理は、ビームを指定点に位置付けする工程と、基板57の特徴のエッジに垂直な直線に沿ってグレースケール値を測定する工程とから成る。例えば、フォーカス電流の10個の異なる値に対して、デジタル化されたグレースケール値は、図示していない高域フィルタで畳み込まれる。最良のフォーカス電流は、高域フィルタの出力の内での最大の値に対応した電流である。好ましい実施例では、以下の畳み込み係数と共に2次微分フィルタを使用している。

【0130】

-4 0 0 0 8 0 0 0 -4

最良の効果を得るには高域フィルタの出力を平滑化しなければならない。フォーカス・コンピュータは電子ビーム生成部制御コンピュータ42の一部である。焦点の計算は、畳み込み集積回路と数個のDSP素子とから成る特別な目的のハードウェアで実行される。

【0131】位置合わせ用光学系

位置合わせ用光学系22は、ダイが検査チャンバに入った後に、ダイの粗い位置合わせを視覚的に実行するために、オペレータによって使用される。サブ・システムは、真空チャンバに面するウィンドウと、ディスプレイ46に表示するためのCCDカメラに画像パターンを投影するレンズとから成る。オペレータは2個のレンズの内の一つを選択できる。本発明では、経験により一方のレンズの倍率を0.46に、他方のレンズの倍率を5.8に設定してある。基板からの汚れが光学面に付着するのを防止するために、レンズは真空領域の外部に置かれている。

【0132】SEM プラズマ・クリーナ

本発明の電子ビーム装置が作動すると、近接相互作用（表面近くでの粒子の帯電）により標的物質が蒸発して高圧領域に引きつけられるので、電子ビームの形成や偏向に使用される様々な電極には有機物質が堆積する。表面の帯電により徐々に堆積していく絶縁体は電子ビームの形成や偏向機構に悪影響を及ぼすので、堆積した絶縁体は周期的に除去しなければならない。絶縁体の周期的な除去は、その堆積する領域の近傍に酸化プラズマを形成することにより達成する。酸化プラズマの形成には、洗浄プラズマの形成のための主要なガスとして酸素を用いる。

【0133】上述の洗浄機能を実行する為に、プラズマが必要になるので、以下では酸素を主体としたプラズマ源を使う。図11に依れば、弁193とマスフロー制御器195を通して酸素供給器199をチャンバの上部、或いは下部に結合する。この時、静電容量式圧力計197が圧力センサーとして働き圧力調整を実施する。酸素はRFエネルギーと結合し易いようにその圧力を調整しプラズマを閉込める。閉込める場所に依って対応する

励起電極を選んで酸素ガスの平均自由行程の違いを勘案した圧力調整をするようにする。放電中のプラズマ空間密度を厳密に制御して、その密度を電極面の持つスバッタ電位のすぐ下の水準に維持することにより、有機物質のみを選択して酸化させることができる。これは高周波で電極が自己バイアスされるのを抑え、RF電力水準と印加電圧をを正確に制御することにより達成する。

【0134】さて図15に移り、堆積物を除去する必要のある電極等はりレー191を通じてRF特性を有するマルチプレックス・リレー179に接続する。高周波電力173を発振させそれを電力検波器175と電圧検波器178を通過させて平滑化する。177は自動整合網であり（商標例はオートマッチ）平滑化出力はその電圧、電流、位相の値を各々適当に変換して充分ななだれ電圧を作り出す。それに依ってプラズマ放電は開始レインビ

ードダンスの整合を図ってプラズマ放電を維持させる。【0135】同様に、プラズマにより符号171にて示したような別の表面や電極をも洗浄することができる。以上、数種の動作モード及び典型的なルーチンについて、実施例の装置に沿って説明したが、当業者であれば以上の説明及び図面に示されている内容から種々の変更例を施して本発明を実施できることは言うまでもない。

【0136】位相シフトマスクの検査

図16に、透明石英基板504上に不透明なクローム層を有する代表的な位相シフトマスク500の断面を示す。クローム層は、蒸着等にて石英基板に堆積する事ができて、典型的には0.1ミクロン厚位であり、ここでは四角のパッド形状をしていて506、508、510の各番号がついている。半導体のウエーハ製造工程では位相シフトマスク500を使うのが望まれる。位相のずれをシフトと称して以下に説明を続ける。位相のシフトは、適当な大きさに作られた井戸、別名トレンチ502（典型的には25ミクロンの深さを有する）で発生する。トレンチは、石英基板504の必要な場所をエッチングして形成する。

【0137】歴史的に言って位相シフトマスク500は、光学的な方法で検査を受けて来た。しかしながら、光学手法は、半導体表面のパターン加工寸法が細くなるとその結果マスクのパターンのサイズが一層小さくなる事情にある現在全く困難になった。本発明は、エレクトロン・ビームに於て後方散乱電子と2次電子を検査時に上手に使うので種々の位相シフトマスク及びその変形版であっても、そのパターンの特徴を把握して検査する事が可能である。図16に於て位相シフトマスク500を電子ビームにて検査する為の準備として、アルミか金など薄い金属の電導性の層512、或いは、Nagase Ltd.製の素材TQV501をマスク500の全構造（上述の井戸も勿論含む）の上に、真空蒸着法等にて堆積させる。

【0138】次に、電導性の層512を電気的にアース（501）する事で電子回路が循環して閉じるようにす

る。と言うのは、後方散乱電子や2次電子は、それだけではこのような役割を果たせないからである。かくして検査時に、基板の検査点が電子ビームに依って帯電する可能性を最小にする。位相シフトマスク500は、当然ながら種々の欠陥を持ち得る。例としては、無かるべき所の余分なクローム、不必要なエッチング痕跡が石英基板上に発生する、等々である。石英の柱状の屑が井戸にはまる事もあるし、或いは石英表面544の上に広がる場合もある。しかしながら、有ってはならないエッチング痕跡は、石英基板540の表面の何処でも発生して不思議でなく、クローム・パッドの下に潜って存在してもおかしくない。

【0139】今、図17を参照する。ここでは簡単化された位相シフトマスクが示されており、電子ビームが当たっている電導層512の下に存在する「モノは何か？」をユーザーが決定する事は、後方散乱電子と2次電子に依って可能となる。図17のモデルに於ては、本発明の内容を簡単化して理解し易くする為、基板500は1本のビームが時間の経過と共に100から100'に移動しそれぞれ516と516'の点を、唯一の電子ビームに依って照射しているものとする。この点を明確にする為に更に述べると、本発明の電子ビームシステムは、カラムが一つ、従って電子ビームも一本と言う事になる。図の中での二本のビームが描かれているのは、唯一の電子ビームを時間が経過する中で、基板表面の2ヶ所516と516'に夫々移動してほぼ直角に照射する状況を示している。唯一の電子ビーム100及び100'は勿論同じであって、通常20kVと高エネルギー状態なので電導層512も、クローム層510も石英基板504も、又剛体など何でも貫通する。クロームの分子量は石英のそれよりも断然大きいので図でビーム100'は、ビーム100が石英504に貫通する程は、クローム層510内部に深く貫通出来ない。勿論この場合ビームのエネルギーは、各々の場合にて互いに同じとした場合である。図17ではこの間の事情を各516と516'点にて、代表的に二つのサイズに分けてその涙滴524と526として示し、上記理論的なビームの飛程の差を涙滴のサイズで示している。該二点でビーム100或いは100'が電導層512に衝突すると通常「SE I 電子」と称する2次電子528を発生する。

【0140】電子ビーム100及び100'がそれぞれクローム層510か石英層504に打ち込まれると一部の衝突にあずかる電子は、散乱して後方散乱電子538及び536になる。後方散乱電子536並びに538は電導層512を後にして各々2次電子540及び542をそれぞれ産出するので一般名称として「SE II 電子」と呼ぶ事にする。カラムが参照されている図8では、上に述べたように、2次電子検出器117が検出する各2次電子に対応して電気信号を出力すると同様に、後方散乱検出器160も電気信号を出力する。

【0141】高エネルギー電子ビーム100に依る光学マスク500に与える打ち込み効果を示す為、図18では図16のマスク断面を図の上方に配置し、対応する波形545と546をそれぞれ2次電子と後方散乱電子に依るものとして示した。更に図18で、2次電子と後方散乱電子に依る波形545と546をそれぞれ資料500の断面と共に描き、各信号の波形とマスクの表面特性間の物理関係を表現するようにした。図18で描いた二つの信号は、電子ビームが資料を走査する場合、それぞれ2次電子と後方散乱電子の検出器117と160から得られる信号の代表例である。2次電子波形545を調べるとマスク500の種々の物理特性が解かる。図に於て、2次電子からの電気信号に以下四つの結果が現われた。

【0142】その1の信号レベルは、544として示されるマスク500の平坦な領域である。その2の信号レベルは、その1の信号レベルより大きくて、504等(506、508及び512)として示されるマスク500がクローム層構造を有する領域である。その3の信号レベルは、その1の信号レベルより小さくて、502として示されるマスク500上の最大幅の井戸の領域である。その4の信号レベルは、その3の信号レベルより小さくて、514として示されるマスク500上の小さな径の井戸の領域である。

【0143】図で例証されてはいないが、他にも信号レベルの変形は考えられる。例としては、クローム・パッドの種々の厚さの薄膜、色々な径、幅、そして深さを有する井戸群、石英表面上の柱、或いは井戸の中で上に伸びる石英の柱等々である。2次電子波形545で他の特徴は、マスク500上でその高さが遷移する領域に対応するパルス波550と552である。最も顕著にこれが起こるのは、井戸502と514の縁である。2次電子波形に見られる大きなピークは、エッチングで作られた井戸502と514の縦壁から発生する増加する2次電子の結果である。同様に小さなピークの信号は、クローム・パッド506、508及び510の側壁からの2次電子発生に依る。

【0144】同じく、後方散乱電子の波形546には、以下の四つの結果が現われる。その1の信号レベルは、544として示されるクローム構造を持たない、マスク500の平坦な領域である。その2の信号レベルは、その1の信号レベルより大きくて、504等(506、508及び512)として示されるマスク500がクローム層構造を有する領域である。その3の信号レベルは、その1の信号レベルより小さくて、502として示されるマスク500上の最大幅の井戸の領域である。その4の信号レベルは、その3の信号レベルより小さくて、514として示されるマスク500上の小さな径の井戸の領域である。

【0145】更に、2次電子の例で判明したようにマス

ク500の他に物理的な変形があればそれに応じた電気信号のレベルを形成するであろう事が解かる。それ等の例としては、クローム・パッドの種々の厚さの薄膜、色々な径、幅、そして深さを有する井戸群、石英表面上の柱、或いは井戸の中で上に伸びる石英の柱等々である。

【0146】その上に解かった事は、後方散乱電子の波形がピークを示すのは井戸と平坦部間に見られる遷移領域に於てのみである。その様な井戸の遷移領域は、井戸502と514の端では、後方散乱の場合2次電子と比べてそのピークは相当小さいことが解かった。更に解かった事はクローム・パッド(506、508と510)と平坦石英表面544との間の遷移領域では、目に見えるピークは見られない。従って各々2次電子と後方散乱波形をそれぞれを比較して、井戸の位置、サイズそして形状が全て間違い無く判定可能になる。

【0147】井戸から散乱して発せられる後方散乱電子の数は、井戸の深さと幅で決まるので波形546を使えば逆に井戸の深さと幅を知る事が出来る。正確にそうするためには、井戸の深さと後方散乱電子波形を互いに校正する事が必要で、それには予めその深さと幅が知られている井戸のサンプルを使う。さて、予めその深さと幅が知られている井戸のサンプルに関しLambertian放射を仮定して後方散乱電子の数を理論計算する事が出来る。同様に、2次電子波形545は顕著なピークを走査の種々な遷移点で発するのに対して、後方散乱電子の場合は546は井戸の端部でのみしかピークを出さないで、先ず後方散乱電子のピークで最初に井戸の端部を探し、次いで2次電子波形545の沢山あるピークのどれが井戸の端部に相当するかを知る。そして2次電子波形545の他のピークの情報も入れて井戸の端部を高い信頼度で決める事が出来る。その上2次電子波形545のレベルに関して、石英基板平坦部544を表す第1のレベルと井戸底の502に対応する第3のレベルを比べれば同じ石英どうしてであっても、第1の信号レベルの方が大い事に着目する。そのような差異は、2次電子が井戸から散乱する時に平坦部と比べてその比率が小さいと言う事実から来る事は明解である。井戸からの2次電子散乱について前と同様に校正して井戸の深さを知り、同じ所で後方散乱電子の波形信号も加えて用い二つのデータを加重平均して各井戸の深さを決定する事が出来る。

【0148】上記で解かったように、マスク500の表面でクローム構造の方が、石英表面よりも後方散乱と2次電子と共にその信号レベルが大きい事が結論付けられる。前に述べた様に分子量は、石英よりクロームの方が大であるので当然に後方に散乱する電子の量が多いので、石英表面よりもっと多くのSE II 電子を発生させると考えて良い。その上、2次電子波形545、後方散乱電子波形546共にエッチングされた井戸の所で上に凸な曲線(548を見よ)を表す。これ等波形の特徴は、544表面とエッチングで作られた井戸底の平面との違

いを識別するのに使える。かくして、欠陥を発見する為には、検査基板の物理特性が反映さるので領域毎に2次電子と後方散乱電子の信号波形を調査して比較をするだけで良い。この比較作業とは一枚のマスク基板の中で二つ以上の同じパターンを互いに比べても良いし、同じ設計の他のマスクで同じ所をそれぞれ比べても良い。

【0149】一方上に述べたように、領域毎に2次電子と後方散乱電子の信号波形を調査して後に比較をする対象は、マスクが作られたCADSデータベースのデータから得られる画像であっても良い。上述のプロセスを実行するには、先ず2次電子と後方散乱電子の信号波形545と546をそれぞれデジタル処理して先に述べた例と同様にデジタル的に種々の関数処置を実行する。更には、検査が終わった後、電導層512が光波長或いは他のリソグラフ媒体にとって不透明の時は、生産等に不適なので512層は取除くべきである。例えばそうする場合に、具体的に512の電導層が銅やアルミの時は0.34ノルマルのKOH液で、金ならKOH+I液(ヨウ化カリにヨウ素を加えた液)を水300対1に薄めた液で、又ポリマーなら典型的な有機溶剤で溶解して石英基板上からそれを傷めずに取り除く事が可能である。

【0150】検査マスクに於て、2次電子と後方散乱電子の信号波形を出力する際に信号対雑音比を最大にする為、電子ビーム100のエネルギーを調整して最適化する事が出来る。上で見たように、図17の包絡即ち涙滴524は、クローム層510の中で散乱し、結果として涙滴の深さは、クローム層510の厚さと近似的に一致する。又、図18に見られる様に、2次電子と後方散乱電子の信号波形のレベルをクローム層と石英表面に関し観察すると、ずっと小信号レベルにある2次電子信号の変動と比べて、後方散乱電子波形の方がその変動は随分と大きい。

【0151】マスク検査時の初期パラメーターを設定する際、電子ビームのエネルギー・レベルを最適化する事が望ましい。その訳は、位相シフトマスクの正確な特性は前もって知り得ず予想がつかないからである。同様に、クロームの位置測定ではそんなに敏感でないが、井戸の深さについては、ビームの異なるエネルギー・レベルでその測定値の正確さが変わる為その事を考慮に入れる必要がある。

【0152】後方散乱電子を捕獲して検出する効率を上げる為の検出器は種々ある。例えば、半導体検出器、シンチレータとフォト・マルチプライアーの組み合わせ或いは、マイクロチャンネル板では、主ビームとその後尾が一線になるように配備する事が重要である。これらのタイプの検出器については、Ludwig Reimerに依る文献、"Scanning Electron Microscopy"、"走査型電子顕微鏡" Springer-Verlag刊の181-182と189-190頁に詳しい。

【0153】図19は、先に図7で示した電子ビーム・

コラムに備わる対物レンズ部分であって、検査基板500から発生する後方散乱電子を捕獲して検出する環状の後方散乱検出器560の設置状態を本発明に於ける一例として示す。図7との関連を上述べたが、図19には低位置ポール106と中位置電極107を描き同時に後方散乱電子が、これ等ポール106と電極107と中央の環状開放部を通過して環状型後方散乱検出器560との具体的な位置関係を一例として示す。

【0154】図20と図21は或種の位相シフトマスクに見られる他の構造的特徴を各々例示する。図20の上の部分には石英基板504'を有するマスク500'の断面が描かれ、井戸502'にはその開口部で各々反対側から突き出す一對のクロームパッド562を表現している。「突き出す」と表現したが言い方を変えれば、一對のクロームパッド562はその下を「掘り込まれている」のである。以下「掘り込み」をアンダーカットと称する事とする。更に議論を進めると、石英基板504'と共に、2次電子と後方散乱電子の期待される波形545'と546'を下の方に描いてマスク断面との関連で見せてその波形とマスク上のパターンの関係を表している。勿論であるが、先に示した図18で2次電子と後方散乱電子の波形は、マスクの表面を含め他の種々のパターンの主なもの、例えば井戸502'、との対応で既に表示してある。この図に於て前の例と比べた相違は、2次電子と後方散乱電子の波形546'と、そこに見られる負の方向に進むパルス566と568であって、それは先のアンダーカットの存在を示す。描かれていないが一部の電子がクローム・パッド562を貫通し井戸502'に突入して、その為そうでない場合即ちアンダーカットが無い場合と比べて少ない数の2次電子と後方散乱電子が発生する事実に基づいてこの小さな負のパルスが発生するのである。勿論そうでない場合即ちアンダーカットが無い場合とはクローム・パッドの下に石英基板が直接接触している状態を言う。かくして、上で述べた比較法を使えば、ここに付加された特徴的な負の波形に依ってこの検査マスクでは、井戸の上に展びるクロームパッドがあつてそこにアンダーカットがあると推論する事が出来る。

【0155】同じように図21の上部に石英基板504''を有するマスク500''を表現しその表面には一對の石英パッド570を置いて別の位相シフト材料の例を提供する。前と同様に議論を進めると、マスク500''に於て、2次電子と後方散乱電子の期待される波形545''と546''を下方に描いてマスク断面との関連で見せてその波形とマスク上のパターンの関係を表している。2次電子と後方散乱電子の期待される波形545''と546''の形状は、マスク500''の組合わせに於て、幾つかの興味あるパルス波形を提示してくれる。全般的には予想された事だが、石英パッド570付近では、544として表示した他の場所と比べより多くの2

次電子と後方散乱電子が発生する事が解かっている。上で説明した基本的な特徴は、当然の事であるが、その場所に於ける石英の余分な厚さの結果である。

【0156】2次電子と後方散乱電子の波形に関わる他の基本的な特徴としては、544域に比べて石英パッド570上の信号レベルがどちらの方向からそこに接近しても漸減する事である。同様に2次電子の波形545'に関しては、石英パッド570上の信号レベルはその外端部で最大になって中央に近づくに漸減する。同様に後方散乱電子の波形546'に関しては、石英パッド570上の信号レベルはそのコーナー部で小さいピークを有するが、この事を除けば、凡そ全般的には比較的平坦である。追加をすれば石英パッド570の場合、2次電子の波形545'は狭くて高いパルスを作る事は無く、井戸やクローム・パッドと異なる。それ故に図18を用いて先に述べた比較技術は、更に発展させて位相シフト材料がクロームパッドか井戸かそしてアンダーカットの有無迄自動的に判断出来る。勿論必要な位相シフト材料の有無そのサイズと場所等々に関して全ての場合に、2次電子と後方散乱電子の波形に依って知る事が出来る。

【0157】前にも述べたが欠陥の探索は単に信号即ち波形の比較をすれば良く比較の対象は他の同じデザインのマスクから得られる同様な波形か或いはさもなくば、データベースを使って予め計算した波形を使う。これ等の比較作業では、電子信号の発生源がクローム層か石英か井戸か或いは他の素材か異物か等に依って全て異なる許容値を適用する。従って、例えば図18で描写された波形をエレクトロニクス系で判断し種々条件や状況をインプットしてやればマスク表面の構造と特徴を上述の観察波形のみから決定する事が出来る。波形を以て欠陥等の識別に際し考慮するのは、550、552に示したスパイクの高さの他に548のような曲率であってそれは502や514のようなトレンチを認識する。

【0158】上に述べたような位相シフトマスクの自動的解析に当たっては、類似の内容であり過去に大量の研究が成された自動波形記録計の文献が参考になる。例えば、ストックマン著G. C. Stockman: "A Problem-Reduction Approach to Linguistic Analysis of Waveforms"

「波形解析に於ける言語発声学的問題解決手法」, Univ. of Maryland, Department of Computer Science, May 1977がある。このタイプのパターン認識は、ピークとか谷のような特徴に依って見本の分析を行なう統語論的パターン認識に関する文献に実例が多く見られる。さて上記を位相シフトマスクに応用するに当たって、井戸の底即ちトレンチ等はその波形的特徴から識別する事が可能である。その具体的手法は、2次電子及び後方散乱電子の低信号値域での波形に於て上に凸な曲率を観察する事、更にトレンチの両端で見られる2次電子信号波形のスパイクが発生する等の特徴を掴む事に依る。「パターン認識と画像処理ハンドブック」に収録されたLarry S.

Davis氏の著作「2次元形状表現」("Two-Dimensional Shape Representation" Handbook of Pattern Recognition and Image Processing, Academic Press, Inc., San Diego, CA, 1986)の233から245頁には井戸底の例、或いは他のパターン形状、例えば石英上の石英(図21)の例も上記第10章に書かれてある方法で探索出来る。

【0159】付け加えると、上記2つの文献の方法を比較手法に使う時、違うマスクの条件に見合った許容値を適用し、又探索された種々のパターンの組み合わせに依存するが、被検査マスクの構造を高い信頼度で決定する事が出来る。

【0160】以上本発明の色々な動作モードを典型的なルーチンとその装置との関連で紹介した。発明の真の意図はもし本技術に精通している人物が、この明細書を図面を参照しつつ精読すれば、発明の範疇内である変形例であってここに書かれていない実施例を思い付くと思われる。この事の故に、本発明の趣旨に照らして喩え特許請求の範囲に書かれていない応用例でも本発明の真の核心に抵触するものはこの請求範囲に含まれるものと解釈すべきである。

【0161】要約すると本発明の趣旨の一は、マスク表面を電導性にすることであり、その上に解析時にマスク表面のトポロジーと構造素材の分子量の差異に依って形成される2次電子及び後方散乱電子の低信号値域での波形を解析に用いる点にその特徴がある。上記に図を用いて種々解説をしたがマスク表面を電導性にする方法は終了したマスクにコーティングをかける以外にも方法はあ

る。【0162】他のテクニックとしては例えば、ITO (インジウムと錫の酸化物)のような電導性の透明膜をクローム層のパターン形成以前に塗布する方法もある。もし上のテクニックが使われるなら、クローム・パッド形成後パッド相互間の電導性透明膜を取り去る必要が無いのは勿論である。この膜は電導性を有して発明の趣旨に沿う上透明なので露光時に邪魔にならない。

【0163】一方、石英基板にイオン打込に依って電導性を持たせる事は可能である。石英基板を半永久的に電導性を持たせるメリットは、イオンビームに依るマスクの修繕を容易にする上に、更に静電気に依る構造破壊のダメージを防ぐ事が出来る点にある。

【0164】その上で、本発明の検査技術は位相シフトマスクのみに限定されない。本発明の説明に位相シフトマスクの例を使い2次電子及び後方散乱電子の低信号値域での波形を用いる手法の詳細を述べたのには確かな理由がある。位相シフトマスクは便宜上種々の議論を提供し易い上、バラエティーに富む表面要素を有し、検査の完結性が高い事が知られている。位相シフトマスクは最も複雑で種々の表面要素を含む上、普遍的な検査技術の駆使が可能であり、これ等全て他のマスク検査に応用が

出来ると言っても過言ではない。本発明のテクニックが多くの光学マスクの検査に適用出来るのは自明である。或種の層が重畳されている構造、例えばスピンオン・ガラスと呼ぶ水性のガラスを基板上で固化して成膜させたガラス膜は、本発明の手法で基板やクローム膜から識別が可能である。即ち、2次電子及び後方散乱電子を発生してそれ等の信号波形を用いる手法が同様に使える。更にその上、光減衰性のマスク素材の例は、電導性を有するクロームの極薄層等があるがこれについても上記手法で検査且つ解析が可能な事を付記する。同様に本発明が光学マスクの一種であるプロキシミティー・マスクを検査する上でも有効である事を付け加える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のシステム全体のブロック図。

【図2】ダイ・ツー・データベース比較検査に使用する走査パターンの概略図。

【図3】ダイ・ツー・ダイ比較検査に使用する走査パターンの概略図。

【図4】幾つかの走査領域にわたって平均化された画像を得る為の多層フレーム走査統合技術をグラフにて説明する図。

【図5】図4に示した走査中に、電子ビームの正規のX方向の偏向値を時間の関数としてグラフ化した図。

【図6】図4に示した走査における基板上の電子ビームのX座標を時間の関数としてグラフ化した図。

【図7】電子光学的ビーム生成制御塔（コラム）及びその内部の収集システムの機能素子を示す概略図。

【図8】図7に示した電子光学的ビーム生成制御塔（コラム）内部、特にその収集システムと通過する1次電子、2次電子、後方散乱電子、透過電子の経路を示す概略図。

【図9】マルチヘッド電子銃と真空系の概略図。

【図10】本発明の位置決め制御システムのブロック図。

【図11】本発明の真空システムの概略図。

【図12】本発明のアナログ偏向システムのブロック図。

【図13】図1に示した本発明のメモリのブロック図。

【図14】本発明の画像捕獲の為の前置プロセッサのブロック図。

【図15】プラズマ酸化サブ・システムの電氣的構成要素を示す為に図7の電子光学的制御塔を修正して示す概略図。

【図16】石英基板に位相シフト発生の為の井戸をエッチングし且つクローム層をパターン化してその上に形成した位相シフトマスクの断面図である。

【図17】石英及びクローム層にて電子ビームが位相シフトマスク上の代表的な2ヶ所を貫通し、且つ散乱する様子を涙滴に依って示した図である。

【図18】マスク上の物理的構造と一致させて対応する

波形の状態を理解する為、マスクの物理的構造と2次及び後方散乱電子波形を共に図16のマスク断面図と位置合わせをして示した合成図である。

【図19】位相シフトマスクから発する後方散乱電子を捕獲する為図7の電子ビーム制御塔内に環状後方散乱電子検出器の配置状況を図解する為、その対物レンズ部分を表した略図である。

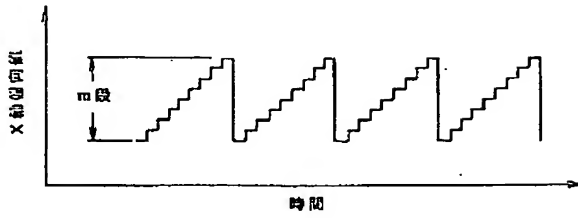
【図20】マスク上の物理的構造と一致させて対応する波形の状態を理解する為、マスクの物理的構造と2次及び後方散乱電子波形を共にマスク断面図と位置合わせをして示した合成図である。ここでは特に物理的構造は、井戸が広がってその上のクローム層にアンダーカットが出来ている場合である。

【図21】マスク上の物理的構造と一致させて対応する波形の状態を理解する為、マスクの物理的構造と2次及び後方散乱電子波形を共にマスク断面図と位置合わせをして示した合成図である。ここでは特に物理的構造は、パターン化された石英層の場合である。

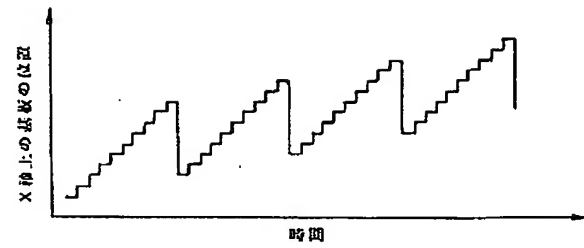
【符号の説明】

- 10…検査システム、
- 20…電子ビームコラム、
- 21…位置合わせコンピュータ、
- 22…位置合わせ用光学系、
- 23…データベース、
- 24…X-Y ステージ、
- 26…ステージ・サーボ、
- 27…干渉計、
- 29…VME 1、
- 30…アナログ偏向回路、
- 31…VME 2、
- 32…検出器、
- 33…信号、
- 34…基板ハンドラー、
- 36…システム・コンピュータ、
- 38…コンピュータ・ディスプレイ、
- 40…キーボード、
- 42…コラム制御コンピュータ、
- 44…ビデオ・フレーム・バッファ、
- 46…画像ディスプレイ、
- 46…画像捕獲前置プロセッサ、
- 50…偏向コンとローラ、
- 52…メモリ・ブロック、
- 54…データベース・アダプタ、
- 56…欠陥プロセッサ、
- 57…基板、
- 58…ポスト・プロセッサ、
- 70…ダイ、
- 100…ビーム、
- 500…位相シフトマスク、
- 501…アース、

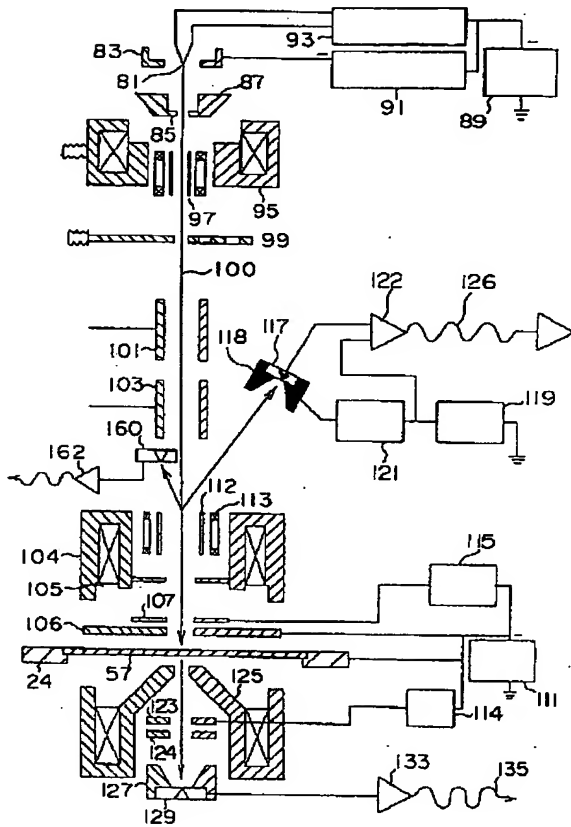
【図5】



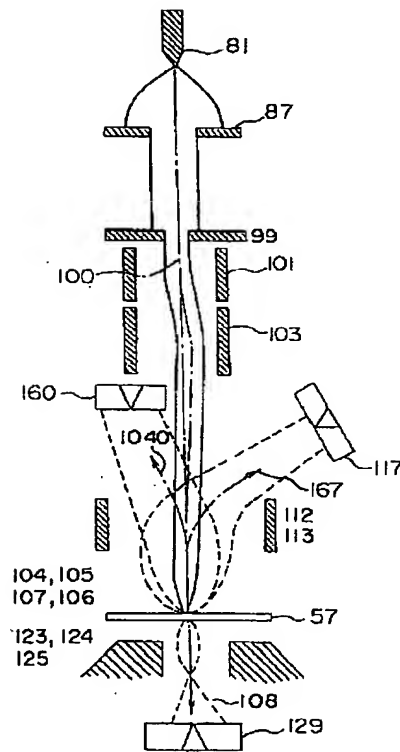
【図6】



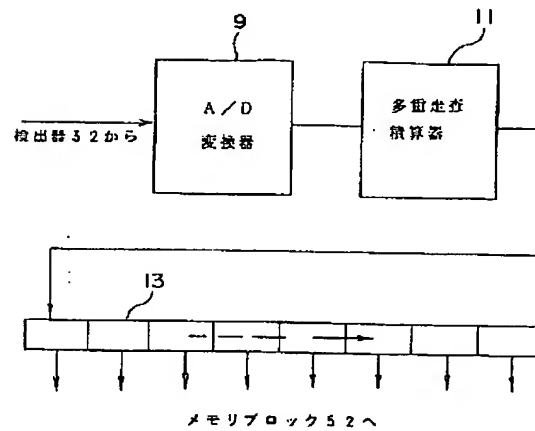
【図7】



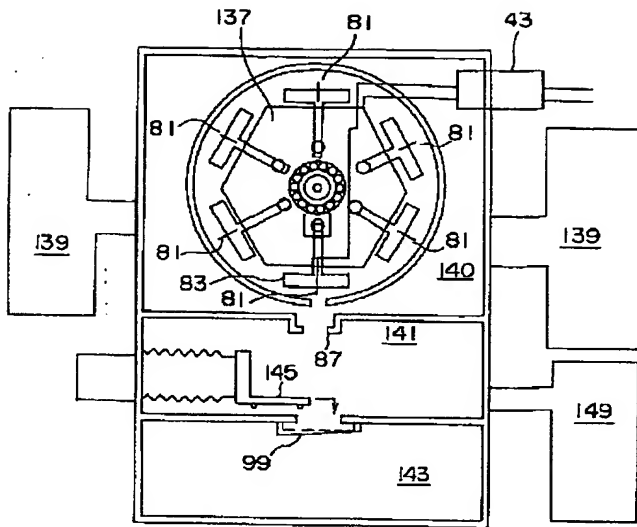
【図8】



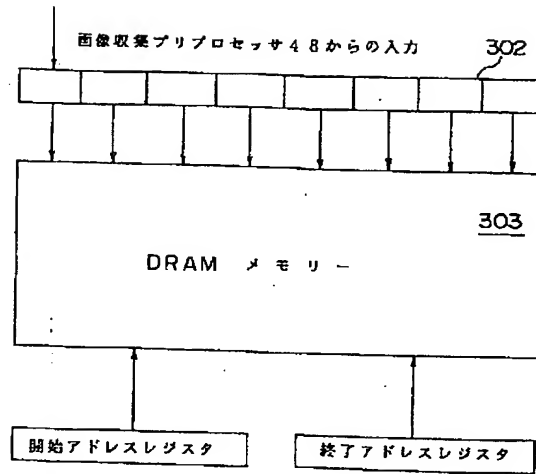
【図14】



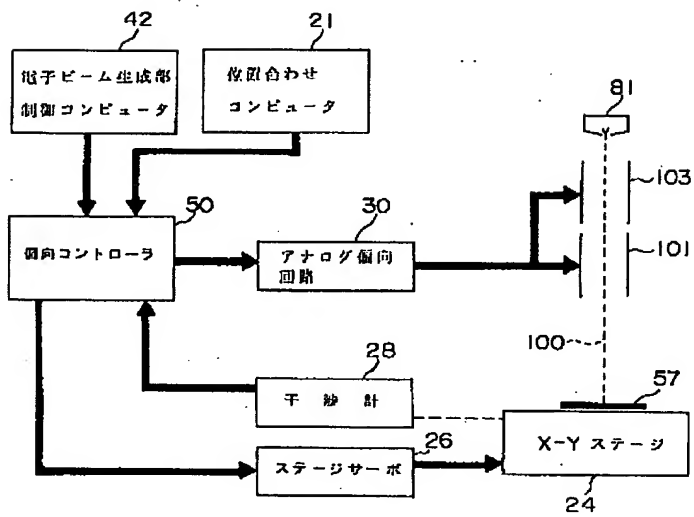
【図 9】



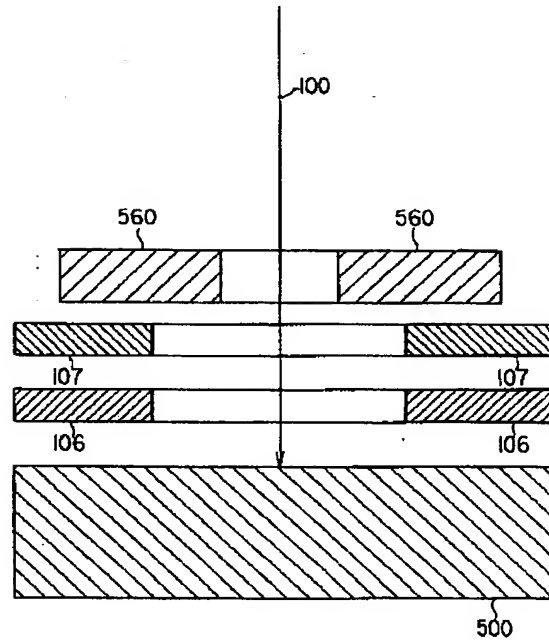
【図 13】



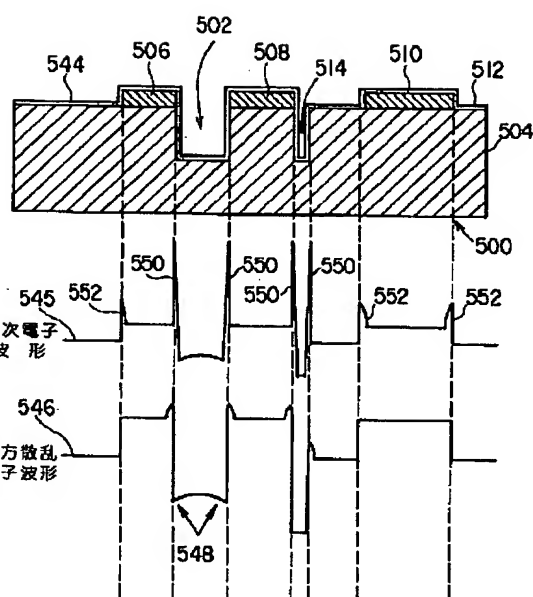
【図 10】



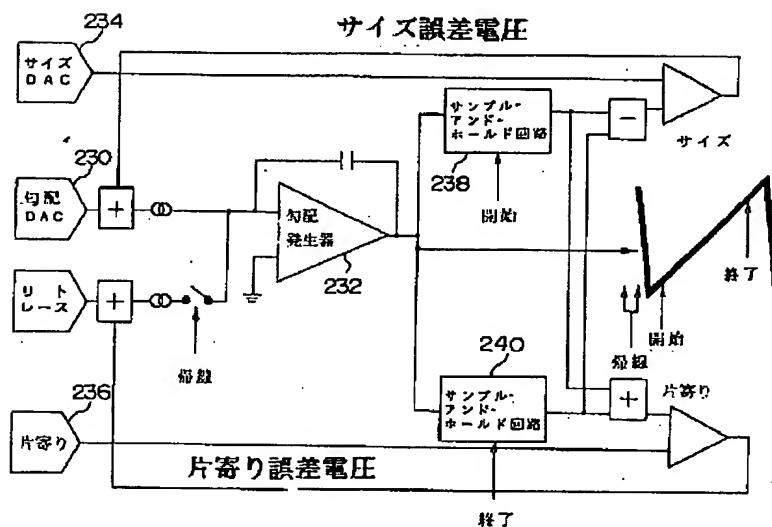
【図 19】



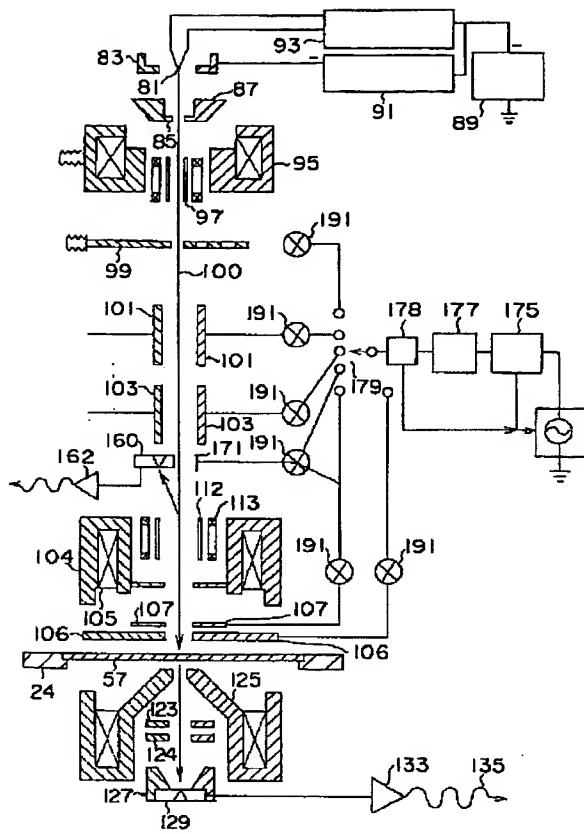
【图 18】



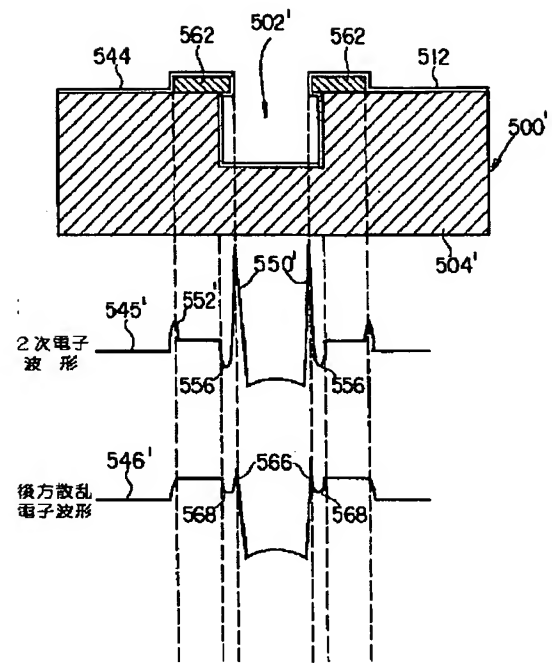
【图 1 2】



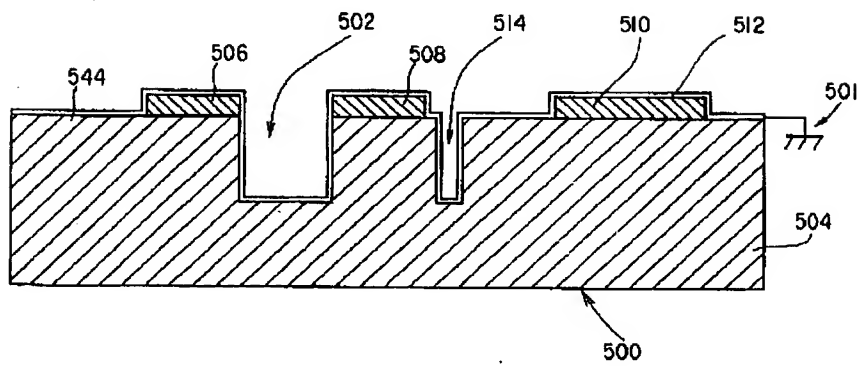
【図15】



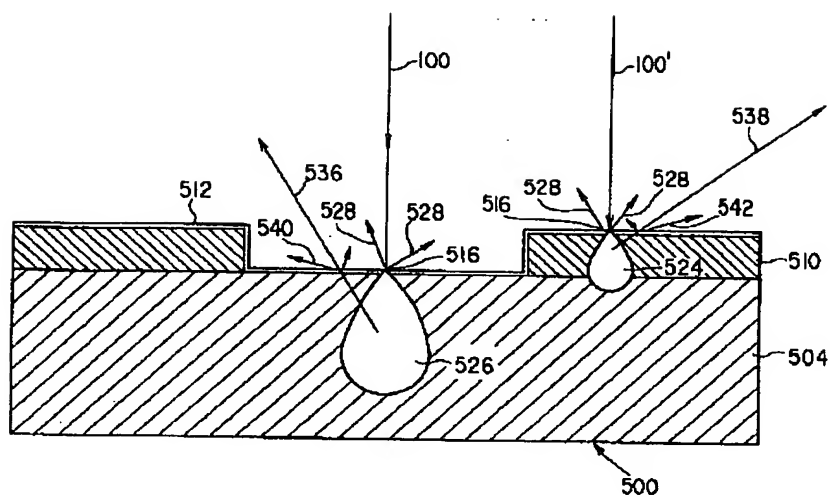
【図20】



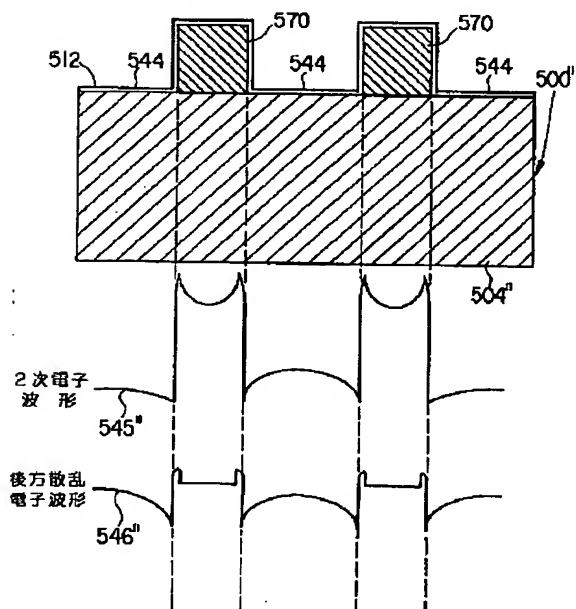
【図16】



【図 17】



【図 21】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/66

J 7514-4M

(72) 発明者 ダン・マイスパージャー

アメリカ合衆国、カリフォルニア州

95120、サン・ホセ、モンタルバン・ドラ

イブ 1507

(72) 発明者 アラン・ディー・ブローディー

アメリカ合衆国、カリフォルニア州

94303、パロ・アルト、パン・オーケン・

サークル 998

(72)発明者 ツオン - ウエイ・チェン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
95129、サン・ホセ、プラネブ・アベニュー
- 1561

(72)発明者 ジャック・ワイ・ジョー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94536、フレモント、バーリントン・テラス 2721
(72)発明者 ブライアン・ジェイ・グレノン
アメリカ合衆国、バーモント州 05446、
コルチェスター、ダンロップ・ウェイ 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.